



**HAL**  
open science

# La CFAO en cabinet dentaire : enquête sur les pratiques et opinions des chirurgiens dentistes d'Île-de-France en 2017

Menahem Elkrief

## ► To cite this version:

Menahem Elkrief. La CFAO en cabinet dentaire : enquête sur les pratiques et opinions des chirurgiens dentistes d'Île-de-France en 2017. Sciences du Vivant [q-bio]. 2018. dumas-03212214

**HAL Id: dumas-03212214**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03212214>**

Submitted on 29 Apr 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

**UNIVERSITÉ PARIS DIDEROT - PARIS 7**

**FACULTÉ DE CHIRURGIE DENTAIRE**

5, Rue Garancière 75006 PARIS

Année 2018

Thèse N° :

N° attribué par la bibliothèque :

**THESE pour le DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR**

**en CHIRURGIE DENTAIRE**

présentée et soutenue publiquement le 3 juillet 2018

par **ELKRIEF Menahem**

**LA CFAO EN CABINET DENTAIRE : ENQUETE SUR LES  
PRATIQUES ET OPINIONS DES CHIRURGIENS DENTISTES  
D'ILE DE FRANCE EN 2017**

Directeur de thèse :

*Madame la Docteure Elisabeth SARFATI*

**JURY**

Mme la Professeure M.-Violaine BERTERETCHE	Président
M. le Docteur Sébastien BUI	Assesseur
Mme la Docteure Anne-Gaëlle CAPITAINE	Assesseur
M. le Docteur Philippe MONSENEGO	Assesseur
M. le Docteur Jean-François NGUYEN	Assesseur
Mme la Docteure Elisabeth SARFATI	Assesseur
M. le Docteur Hervé TARRAGANO	Assesseur

# UNIVERSITE PARIS DIDEROT – PARIS 7

Présidente de l'Université : Mme la Professeure Christine CLERICI

Doyenne de l'U.F.R. d'Odontologie : Mme la Professeure Ariane BERDAL

Directrice Générale des Services : Madame Pascale SAINT-CYR

---

## JURY

Mme la Professeure M.-Violaine BERTERETCHE	Président
M. le Docteur Sébastien BUI	Assesseur
Mme la Docteure Anne-Gaëlle CAPITAINÉ	Assesseur
M. le Docteur Philippe MONSENEGO	Assesseur
M. le Docteur Jean-François NGUYEN	Assesseur
Mme la Docteure Elisabeth SARFATI	Assesseur
M. le Docteur Hervé TARRAGANO	Assesseur

**Mme la Professeure M.-Violaine  
BERTERETCHE**

Docteur en Chirurgie Dentaire  
Diplôme de Doctorat  
Professeur des Universités - Praticien Hospitalier

*Pour l'honneur que vous me faites en acceptant la présidence de ce jury, veuillez trouver dans ce travail l'expression de mes remerciements les plus sincères et de mon profond respect.*

**M. le Docteur Sébastien BUI**

Docteur en Chirurgie Dentaire  
Assistant Hospitalo-Universitaire

*Pour l'honneur que vous me faites de siéger au jury de cette thèse, je vous prie de recevoir l'expression de mon profond respect et de ma gratitude.*

**Mme la Docteure Anne-Gaëlle CAPITAINE**

Docteur en Chirurgie Dentaire  
Assistante Hospitalo-Universitaire

*Pour l'honneur que vous me faites de siéger au jury de cette thèse, je vous prie de recevoir l'expression de mon profond respect et de ma gratitude.*

**M. le Docteur Philippe MONSENEGO**

Docteur en Chirurgie Dentaire  
Docteur en Sciences Odontologiques  
Docteur d'Etat en Odontologie  
Maître de Conférences des Universités - Praticien  
Hospitalier

*Pour l'honneur que vous me faites de siéger au jury de cette thèse, je vous prie de recevoir l'expression de mon profond respect et de ma gratitude.*

**M. le Docteur Jean-François NGUYEN**

Docteur en Chirurgie Dentaire  
Maître de Conférences des Universités - Praticien  
Hospitalier

*Pour l'honneur que vous me faites de siéger au jury de cette thèse, je vous prie de recevoir l'expression de mon profond respect et de ma gratitude.*

**Mme la Docteure Elisabeth SARFATI**

Docteur en Chirurgie Dentaire  
Diplôme de Doctorat  
Maître de Conférences des Universités - Praticien  
Hospitalier

*Pour l'honneur que vous m'avez fait de diriger et de participer au jury de cette thèse, veuillez recevoir toute ma gratitude et mon plus profond respect.*

*Je vous remercie pour tous vos conseils, votre gentillesse, votre disponibilité et votre aide au cours de l'élaboration de ce travail*

**M. le Docteur Hervé TARRAGANO**

Docteur en Chirurgie Dentaire  
Maître de Conférences des Universités - Praticien  
Hospitalier

*Pour l'honneur que vous me faites de siéger au jury de cette thèse, je vous prie de recevoir l'expression de mon profond respect et de ma gratitude.*

## Table des matières

<b>1. Introduction.....</b>	<b>3</b>
<b>2. La CFAO et ses caractéristiques .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Définition.....</b>	<b>4</b>
<b>2.2 Domaines d'application .....</b>	<b>4</b>
2.2.1 Omnipratique .....	5
2.2.2 Analyse du sourire .....	5
2.2.3 Imagerie à rayons X.....	6
2.2.4 Implantologie .....	7
2.2.5 Orthodontie .....	8
2.2.6 Gestion de l'occlusion.....	8
<b>2.3 Matériaux .....</b>	<b>10</b>
<b>2.4 Historique.....</b>	<b>12</b>
<b>2.5 Contexte actuel .....</b>	<b>13</b>
<b>2.6 Etapes de la chaîne numérique.....</b>	<b>14</b>
2.6.1 Acquisition de données numériques .....	14
2.6.2 L'empreinte optique intra-orale au cabinet.....	14
2.6.3 Utilisation de l'empreinte optique.....	19
2.6.4 L'acquisition extra-orale : CFAO indirecte .....	23
<b>2.7 La conception assistée par ordinateur : CAO.....</b>	<b>25</b>
2.7.1 La modélisation des restaurations.....	25
2.7.2 Flux de données, systèmes ouverts ou fermés .....	26
<b>2.8 La fabrication assistée par ordinateur : FAO.....</b>	<b>27</b>
2.8.1 Les techniques soustractives .....	27
2.8.2 Production par fabrication additive.....	29
<b>2.9 La CFAO face à la législation dentaire .....</b>	<b>31</b>
2.9.1 Traçabilité des dispositifs médicaux sur mesure.....	31
2.9.2 Gestion du dossier médical et CFAO.....	32
<b>2.10 Cout de la CFAO .....</b>	<b>33</b>
2.10.1 Cout de la CFAO semi-directe .....	33
2.10.2 Cout de la CFAO directe .....	34
2.10.3 Rentabilité de la CFAO .....	35
<b>3. Enquête auprès des praticiens en Ile de France.....</b>	<b>37</b>
<b>3.1 Objectifs de l'enquête.....</b>	<b>37</b>
<b>3.2 Matériel et méthode.....</b>	<b>37</b>

3.2.1	Diffusion du questionnaire.....	38
<b>3.3</b>	<b>Résultats .....</b>	<b>39</b>
3.3.1	Le sexe .....	39
3.3.2	La tranche d'âge.....	39
3.3.3	Répartition géographique des praticiens sondés .....	41
3.3.4	Temps d'exercice .....	41
3.3.5	Nombre de praticiens en cabinet.....	42
3.3.6	Orientation de l'activité du cabinet.....	43
3.3.7	Utilisation de la CFAO (directe, semi-directe ou indirecte) .....	43
3.3.8	Les praticiens utilisant la CFAO.....	47
3.3.9	Formation CFAO .....	51
3.3.10	Domaines de modifications des habitudes de travail.....	52
3.3.11	Temps d'utilisation de la CFAO par semaine.....	52
3.3.12	Critères de choix du matériel.....	54
3.3.13	Sources d'informations sur la CFAO .....	54
3.3.14	Difficultés d'apprentissage de la CFAO directe.....	55
3.3.15	CFAO Semi-directe ou Indirecte .....	55
3.3.16	La CFAO selon les praticiens .....	56
3.3.17	Les indications de la CFAO.....	58
3.3.18	La numérisation des empreintes deviendra incontournable.....	67
3.3.19	Vous sentez vous dépassé par ces nouvelles technologies .....	69
3.3.20	Amélioration de la communication praticien- patient .....	69
3.3.21	Amélioration de la communication praticien – prothésiste .....	70
3.3.22	Utilisation des outils de la CFAO par l'assistante dentaire .....	71
3.3.23	Formation des futurs praticiens .....	71
<b>3.4</b>	<b>Discussion .....</b>	<b>72</b>
3.4.1	Conception de l'enquête.....	72
3.4.2	Comparaison des résultats avec d'autres enquêtes existantes.....	72
3.4.3	Renseignements sur l'échantillon .....	74
3.4.4	Utilisation de la CFAO .....	74
3.4.5	Réponses des utilisateurs CFAO ou non.....	76
<b>4.</b>	<b>Bibliographie .....</b>	<b>88</b>
<b>5.</b>	<b>Annexe.....</b>	<b>92</b>

## **1. Introduction**

Depuis les années 80 où elle a vu le jour, la CFAO n'a cessé d'évoluer et de se perfectionner dans le domaine de l'odontologie.

Aujourd'hui, les industriels ont compris l'enjeu du développement de ces outils de travail.

Les évolutions sont quasi quotidiennes, que ce soit dans la pratique en cabinet ou en laboratoire.

Aussi, de plus en plus de praticiens et prothésistes franchissent le pas et investissent dans ces nouveaux outils.

Dans ce contexte, nous avons souhaité connaître les pratiques et opinions des chirurgiens-dentistes d'Ile de France concernant la CFAO.

A cette fin, après avoir parcouru la CFAO et ses caractéristiques dans une première partie, nous nous sommes intéressés à la CFAO dans la pratique quotidienne en cabinet dentaire, dans la région Ile de France, en 2017.

## **2. La CFAO et ses caractéristiques**

### **2.1 Définition**

Le sigle CFAO est l'abréviation de Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur, appelée en littérature anglaise CAD-CAM (Computer Assisted Design, Computer Assisted Manufacturing) et désigne un processus industriel destiné à simplifier et à standardiser les techniques et les tâches répétitives ((Unger 2005).

En odontologie, elle désigne l'ensemble des équipements utilisés dans la chaîne numérique allant de la modélisation à la fabrication des prothèses dentaires.

Les trois principales étapes de cette chaîne sont :

- l'Acquisition Numérique en 3D, ou Numérisation ;
- la CAO, qui permet la construction tridimensionnelle du modèle numérique ;
- la FAO, qui fait le lien entre la CAO et la machine de mise en forme du matériau.

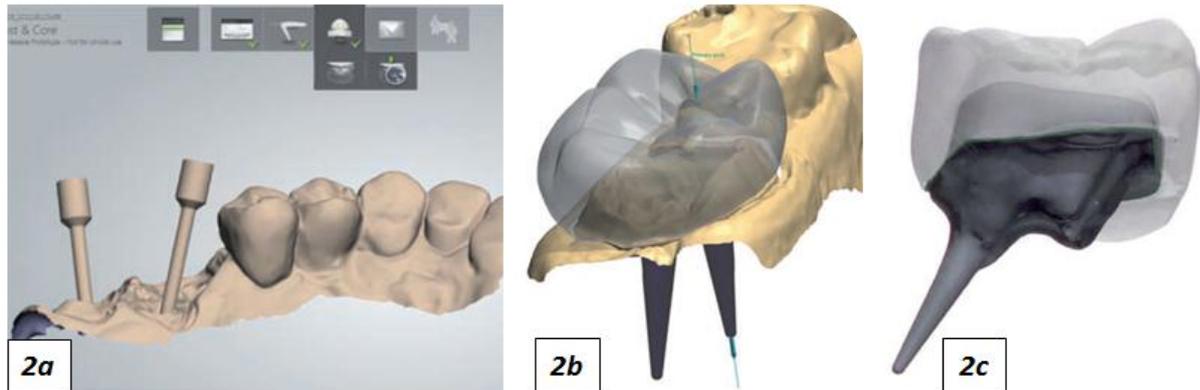
La première étape de numérisation est réalisée grâce à un scanner. Elle peut avoir lieu directement en bouche ou indirectement à partir des informations issues d'une empreinte classique. La CAO est une modélisation informatique de la prothèse assurée par des logiciels de conception. Enfin, des équipements à commande numérique fonctionnant par addition (prototypage, fusion laser) ou soustraction (usinage) vont fabriquer la prothèse, c'est l'étape de la FAO (CNIFPD 2009).

### **2.2 Domaines d'application**

Par la CFAO, pratiquement toutes les restaurations dentaires peuvent être concernées. La dentisterie restauratrice (inlays, onlays et facettes), la prothèse fixe sur dents naturelles (chapes, armatures de bridges, éléments métalliques pleins) et la prothèse implantaire (piliers, armatures unitaires ou plurales) utilisent la CFAO. Pour chaque famille, les procédés de fabrication diffèrent mais les processus numériques restent sensiblement les mêmes (Pelissier 2010).

### 2.2.1 Omnipratique

La CFAO permet de réaliser des restaurations prothétiques unitaires en direct (inlay, onlay, facette, couronne), des inlays-core, des armatures de bridge petite ou grande étendue , ou encore des châssis métalliques de type stellite (Landwerlin 2013).



*Figure 1 Réalisation d'inlays-core par CFAO.*

*2a : Numérisation en situation, de corps de scannage ou scan body (tenon de référence, nécessaire pour la profondeur).*

*2b : Conception sur logiciel CAO de l'inlay-core et couronne.*

*2c : Inlay-core et couronne réalisés en une seule étape par CFAO (Trios 3Shape)*

### 2.2.2 Analyse du sourire

Il est également possible, à l'étape de conception de la prothèse, d'intégrer nos restaurations antérieures dans le sourire du patient grâce à des logiciels qui insèrent une photographie (Smile Design de Sirona, de Planmeca, Smile Composer de 3Shape) afin d'optimiser l'esthétisme final (fig.3) . Ces fonctions de planification du sourire à l'étape de CAO peuvent faire appel à des logiciels tiers tels que le Digital Smile Design qui ont une passerelle permettant d'exporter le fichier 2D en STL, afin qu'ils puissent être inclus dans le logiciel de CAO (Landwerlin et Berruet 2015).



*Figure 3 Planification du sourire à partir d'une empreinte optique avec un logiciel de conception (Cerec Smile Design Sirona)*

### 2.2.3 Imagerie à rayons X

A l'heure actuelle, il est possible d'associer les fichiers 3D des empreintes optiques aux fichiers 3D issues de l'imagerie à rayons X pour l'obtention de modèles en 3D encore plus précis affichant les supports à la fois osseux, dentaires et muqueux. Par exemple, le logiciel « Romexis » de Planmeca peut fusionner des données DICOM (Digital Imaging and COmmunications in Medecine) et STL afin de superposer une empreinte optique aux images de la tomographie 3D. Cette association est d'un grand intérêt en implantologie et en orthodontie(Jaisson 2013).



*Figure 2 Système Jaw Motion Tracker (SICAT JIMT+) de Sirona, intégrant l'empreinte numérique des arcades complètes maxillaire et mandibulaires réalisée avec Omnicam (Image Sirona).*

D'autre part, il existe des scanners faciaux qui sont intégrés au CBCT (Cone Beam Computed Tomography) pour former un « unit à rayons X 3D » (Planmeca ProMax<sup>®</sup>3D ProFace, ou FaceScanner intégré à GALILEOS Sirona) permettant de réaliser un scan facial en plus du Cone Beam. La fusion dans le logiciel de CAO des données issues du Cone Beam (relief osseux), de scan facial (visage du patient) et de l'empreinte optique intra-buccale (relief dentaire et muqueux) permet de créer un véritable patient virtuel.

En plus d'être un élément de communication, il permet de faciliter la planification de nos traitements(Schneider et al. 2015)(Landwerlin et Berruet 2015).



*Figure 4 Planmeca ProMax<sup>®</sup>3D ProFace- le visage en 3D (image Planmeca).*

#### 2.2.4 Implantologie

La CFAO occupe une place de plus en plus importante en implantologie notamment avec la réalisation de guides chirurgicaux, de pilier anatomique, d'armature, de reconstitution en direct implant, de reconstitution plurale avec une grande précision permettant une excellente passivité des armatures (Margossian et al. 2014).

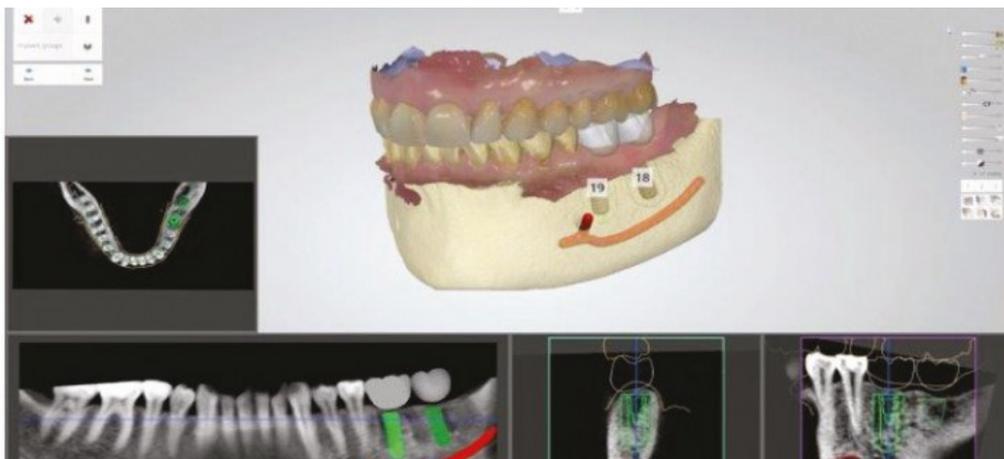
Le mélange des fichiers en provenance de différentes sources d'acquisition, permet de confectionner un patient virtuel adapté au traitement à effectuer.

La possibilité de fusionner les fichiers d'un cone beam (format DICOM) et d'une empreinte numérique, peuvent être particulièrement utiles lors de la planification implantaire.

La plupart des logiciels gérant la CAO à partir d'empreinte optique sont équipés de modules supplémentaires qui référencent la majorité des implants et piliers implantaires présents sur le marché.

Les « scans bodies » ou corps de scannage existent pour chaque marque et permettent d'être vissés sur l'implant lors de l'empreinte optique, et sont reconnus par le logiciel qui en déduira l'axe et la position de l'implant par rapport aux tissus mous et aux dents adjacentes et antagonistes, en vue de l'usinage des pièce prothétiques d'usage (Landwerlin et Berruet 2015).

La planification implantaire se fait alors en quelques clics, à partir des images CBCT et de l'empreinte optique.

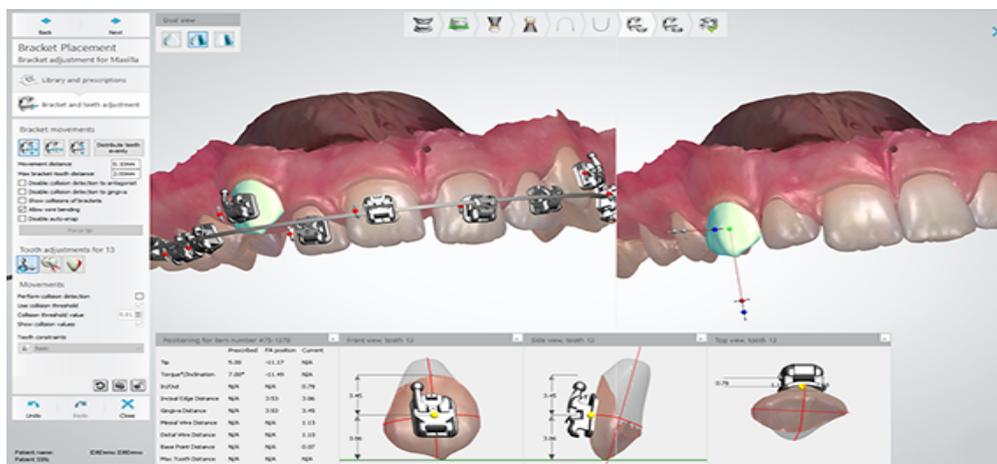


*Figure 5 Couple empreinte optique avec panoramique 3D pour planification implantaire (Image 3Shape).*

### 2.2.5 Orthodontie

Elle trouve une indication en orthodontie, avec des logiciels CAO de planification qui simplifient le traitement (Moussally et al. 2009).

Par exemple, le collage des brackets est optimisé avec des gouttières faites sur mesure. De même, des gouttières d'alignement (système Invisalign d'Align Technologies, DentoSmile de Biotech...) peuvent être aussi réalisées à partir d'empreintes optiques (LANDWERLIN 2015).



*Figure 6 Système Ortho System 2017 de 3Shape (image 3Shape).*

### 2.2.6 Gestion de l'occlusion

Le réglage de l'occlusion est une étape clé dans la pérennité d'une prothèse, en particulier supra-implantaire non entouré de ligament desmodontal.

Cela peut donc entraîner, en cas de mauvais réglages occlusaux, une perte osseuse en cratère, une fracture de l'implant (Naert et al. 2012), des descellements et dévissages des couronnes supra-implantaires, des fractures cosmétiques ou bien des usures anormales excessives au niveau des dents antagonistes (Missika et al. 2011).

L'articulateur virtuel est un outil généralement intégré dans le logiciel de CAO afin de mimer la cinétique mandibulaire. On distingue deux types d'articulateur virtuel : les articulateurs mathématiques et les articulateurs adaptables (Koralakunte et Aljanakh 2014).

**L'articulateur mathématique** se base sur des simulations mathématiques des mouvements mandibulaires. Il est comparable à l'articulateur physique adaptable ou semi-adaptable puisqu'il est possible d'analyser l'angle initial et progressif de Bennett, les pentes condyliennes, les mouvements limites de propulsion/latéralité. La tige incisive est également réglable.

**L'articulateur adaptable**, quant à lui, est programmé grâce à des données réelles de la cinétique mandibulaire, grâce à des enregistrements électroniques. Il est cependant peu utilisé en clinique.

Pour l'articulateur virtuel mathématique, les modèles peuvent être placés selon :

- une table de montage standardisée ;
- une table de montage personnalisée ;
- un double montage articulateur physique/articulateur virtuel.

Dans les situations de la table de montage, il s'agit alors d'un montage selon des moyennes.

L'utilisation des tables de montage standardisées ou personnalisés est réalisable uniquement pour de petites restaurations : restauration unitaire ou bridge de petite taille. De plus, il est nécessaire que les dents adjacentes et antagonistes à l'édentement possèdent un plan d'occlusion et de guidage préservés. L'emploi de ces tables de montages n'est cependant pas possible dans le cas de patients bruxomanes (Jaisson et Felenc 2014)

L'utilisation de table de montage passant par des moyennes, celles-ci sont acceptables en cas de restaurations encastrées ou présentant des structures anatomiques résiduelles suffisantes.

En cas d'absence de guide antérieur, de nécessité de rehaussement de la DV, des évaluations cliniques préalables seront obligatoires. Cela entraîne donc une complexité plus importante et un temps de réalisation accru (Laplanche et Duminil 2011).

Dans le cas de grandes restaurations, de manque de calage postérieur, il s'avère délicat d'envisager une empreinte optique. En effet, l'accumulation des erreurs lors du scannage par distorsion ainsi que l'absence de repères pour obtenir une occlusion fixe, induit l'impossibilité d'utiliser l'empreinte optique dans ces conditions, sous risque d'erreurs trop importantes.

Le double montage articulateur physique/articulateur virtuel paraît nécessaire dans le cas de grands édentements où les guidages sont absents et où le plan d'occlusion est à restituer. Il

s'agit d'un montage vrai en articulateur physique avec arc facial puis le tout est scanné et transféré numériquement vers un articulateur mathématique (Laplanche et Duminil 2011).

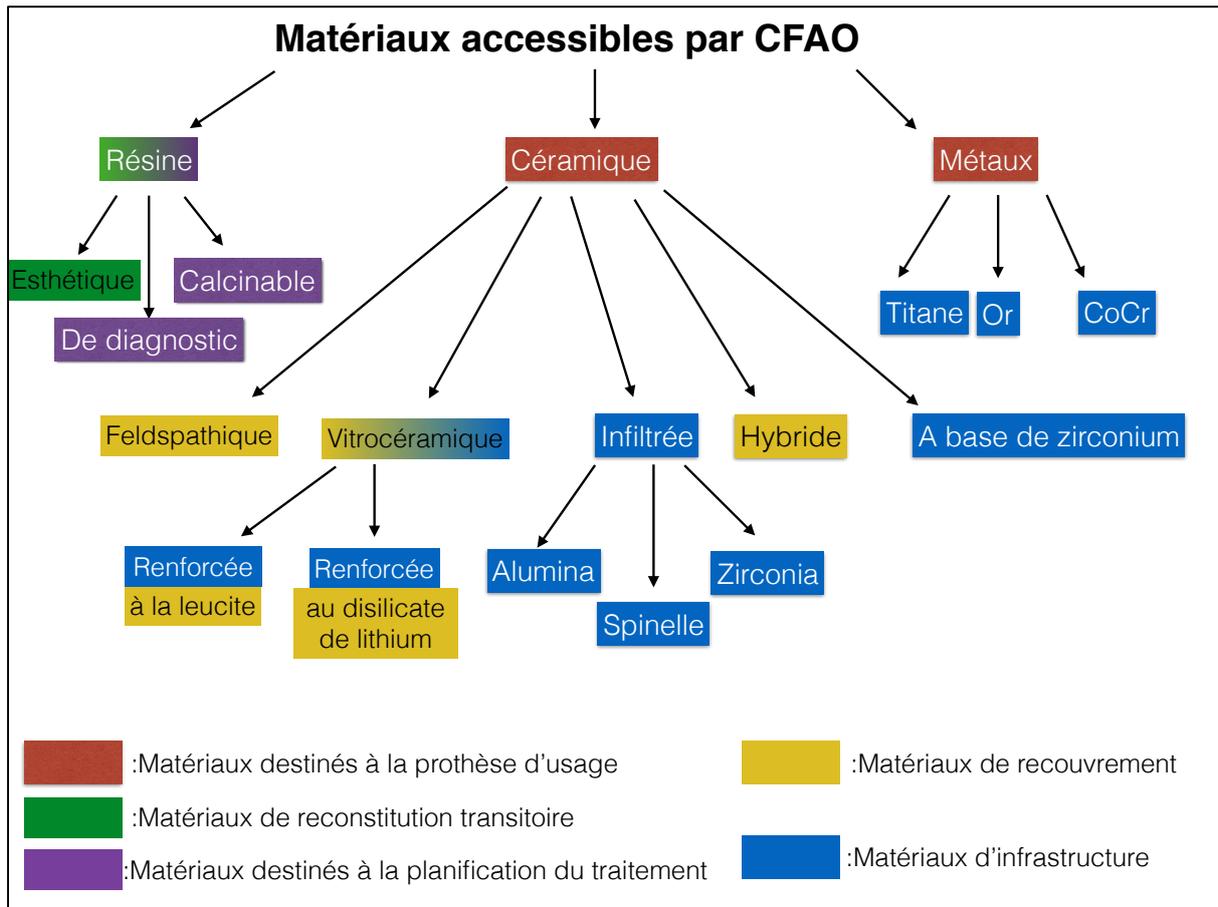
Dans cette situation, la chaîne du tout numérique est rompue et de ce fait les erreurs qui avaient été évitées grâce au numérique refont surface. L'empreinte optique et la CFAO semblent donc peu intéressantes dans ces cas-là.

Pour conclure, l'occlusion statique et dynamique peut donc être gérée par la CFAO. Cependant, elle est possible en CFAO directe uniquement pour de petites restaurations. Dans le cas de grandes restaurations ou de patients présentant un contexte occlusal défectueux, il est nécessaire de repasser par l'articulateur physique (Maestre-Ferrín et al. 2012; Delain 2017).

### 2.3 Matériaux

Pratiquement, tous les matériaux (Céramiques, Métaux et Résines) peuvent être utilisés en CFAO ; généralement, ils correspondent aux trois grandes familles (Fig. 7).

CFAO et céramiques sont étroitement liées et les céramiques voient leurs indications de plus en plus nombreuses que ce soit pour les systèmes de cabinet dentaire (chairside systems) ou les systèmes de laboratoires (laboratory based). Tous les matériaux de la dentisterie adhésive, et de scellement traditionnel de la prothèse métallo-céramique peuvent être utilisés.



*Figure 7 Différents matériaux usinables(Delain 2017).*

Nous disposons d'un choix accru de matériaux : les métaux (précieux ou non), les résines (composites ou associées à des céramiques) et les céramiques (vitreuses, feldspathiques ou autres zircons) sont travaillés en CFAO.

Une réactualisation permanente est nécessaire.

De plus en plus d'armatures sont fraisées en titane ou en cobalt-chrome. La CFAO a, par ailleurs, permis la banalisation du tout céramique.

Les matériaux exploitables en CFAO dépendent de la technique de FAO utilisée, par addition ou soustraction.

Ainsi, en plus de procédés soustractifs indirects qui produisent des prothèses dentaires à partir de blocs de matériaux bruts par enlèvement de matière, d'autres procédés additifs directs sont utilisés (Pelissier 2010).

## 2.4 Historique

La CFAO a été développée dans les années 60 dans l'industrie aéronautique et automobile afin de simplifier et standardiser les techniques dans la réalisation de formes répétitives.

Elle ne cessera de se développer en parallèle de l'évolution de l'optique tridimensionnelle, de l'informatique, et de la robotique.

François DURET fut le concepteur et l'inventeur de la CFAO dentaire. Il en exposa les fondements par le biais de sa thèse de doctorat en chirurgie dentaire : « Empreinte optique », Université Claude Bernard, Lyon, 1973. Ce travail, fruit de deux ans de recherches, décrit toutes les techniques aujourd'hui utilisées en CFAO : l'utilisation d'une lecture optique 3D, d'un ordinateur et d'un centre d'usinage.

Entre 1975 et 1985, seuls deux pays, la France et les USA, s'intéressent aux techniques de CFAO. Ce n'est que par la suite que les Japonais se joindront à eux.

L'équipe de chercheurs français constituée par François DURET présenta ses travaux pour la première fois aux Entretiens de Garancière en 1983. Lors du congrès de l'ADF en novembre 1985, il démontra l'efficacité de son système en créant une couronne unitaire à son épouse en une heure. Ce fut une première mondiale.

A partir de 1987, la société Hennson commence à produire un appareil avant de péricliter à la fin des années 90. En parallèle, Sirona, connaît un certain succès avec les Cerec<sup>®</sup> mark 1 et 2, développés par Mörmann et Brandestini en Suisse, qui usinent des céramiques.

Ces deux systèmes ont développé une prise de vue buccale par caméra tridimensionnelle et un usinage soustractif (par fraisage).

Le Procéra<sup>®</sup> a vu le jour en 1987 grâce au Dr Anderson. Il s'agit d'un système manufacturant des couronnes dentaires de haute précision. Biocare<sup>™</sup> commercialisa le Procera<sup>®</sup> AllCeram en 1993. Ce système diffère des deux précédents puisque la prise d'empreinte se fait sur le modèle (à l'issue d'une empreinte chimico-manuelle classique) par micro- palpation, et que l'usinage est réalisé par électro-érosion (intradors) associée à un fraisage (extradors) dans un centre spécialisé se situant à Göteborg.

La chaîne prothétique est novatrice, le centre d'usinage délocalisé, réalise une chape sur laquelle le prothésiste monte la céramique cosmétique. Ce système connaît son essor à partir de 1995 et valide le concept de grand centre de production décentralisé collaborant avec les laboratoires dans l'élaboration de prothèses dentaires.

A partir de 1985, il n'était plus nécessaire de démontrer la faisabilité de cette technologie, mais de prouver son efficacité et son intérêt pour la profession.

C'est dans les années 2000 qu'elle a acquis sa crédibilité chez les praticiens et les prothésistes. Cette technologie a permis à l'odontologie d'entrer dans l'ère du numérique, caractérisée par le développement de systèmes CFAO, marqué par deux idéologies, celles du :

- Cerec<sup>®</sup> (système complet au cabinet dentaire), technique directe (ou « chairside »)
- Procera (délocalisé), technique indirecte.

Elle est restée influencée par ces deux idéologies jusque dans les années 2006 avec l'apparition de la technique semi-directe, utilisant le principe d'empreinte optique directement en bouche à destination du laboratoire de prothèse.

La démocratisation de la numérisation dans le domaine de l'odontologie est favorisée par l'apparition des logiciels dits « ouverts », offrant la possibilité d'exporter librement les fichiers.

De nos jours, les techniques ne cessent de se développer, dans une société où l'informatique et le numérique se généralisent. (Duret 2003; Duret et al. 2007)

## 2.5 Contexte actuel

La CFAO dentaire est devenue en moins de 25 ans un véritable système intégrable dans les laboratoires ou les cabinets dentaires.

Elle s'impose de plus en plus dans les laboratoires de prothèse et les cabinets dentaires commencent à s'équiper de caméras de prise d'empreinte 3D intra-orales, de scanners ou de systèmes de CFAO directe.

Aujourd'hui près de la moitié des laboratoires de prothèses français sont équipés d'un système de CAO ou de FAO ou des 2. En parallèle, nous assistons à une augmentation du nombre de chirurgiens-dentistes équipés d'un système de CAO-FAO ou uniquement de CAO ( 3 à 4 % des praticiens), même si l'essor est moins rapide en France que sur le continent américain ou que dans certains autres pays européens (Allemagne, Espagne, Italie...) (Cordelette et Jordan Combarieu 2014; Arcaute et Nasr 2017).

## 2.6 Etapas de la chaîne numérique

Les notions de chaîne numérique et de flux numériques sont fondamentales à la compréhension et à la maîtrise de la Conception et Fabrication Assistées par Ordinateur.

Bien que traitant du même sujet, ces notions sont distinctes et complémentaires :

- La chaîne numérique est constituée d'un ensemble de maillons intégrés entre eux, qui manipulent, traitent et échangent des données analogiques et numériques.
- Le flux numérique correspond à l'ensemble des données numériques échangées à travers des fichiers et représentées par des modèles numériques (Tapie et al. 2015).

En CFAO, elle va de la numérisation de l'empreinte à la fabrication de la prothèse. (Mclaren et al. 2008; Puri 2009)

### 2.6.1 Acquisition de données numériques

Tout système CFAO en odontologie débute par l'acquisition des données topographiques de la zone de travail et de l'arcade antagoniste.

Ces données analogiques sont alors converties en données numériques : chaque point est alors mathématiquement défini par des coordonnées x, y et z.

Plusieurs concepts cohabitent actuellement :

- L'acquisition extra-orale sur des modèles coulés, des empreintes ou des maquettes. Elle est faite au laboratoire de prothèse par micro palpation ou par scannage optique.
- L'empreinte optique intra-orale à l'aide d'une caméra intra-buccale.

### 2.6.2 L'empreinte optique intra-orale au cabinet

La PEO (Prise d'Empreinte Optique) restait, jusqu'il y a peu de temps, le maillon faible de la chaîne numérique dans les cabinets dentaires. (Landwerlin 2013)

Aujourd'hui, la technologie employée au sein d'une caméra n'a que peu d'incidence sur la qualité de l'empreinte optique. Le choix technologique effectué a, par contre, de grandes conséquences sur l'ergonomie du système (taille et volume de la caméra, poids). La maîtrise de la technologie par l'industriel permettra également d'avoir accès ou non à certaines modalités (ex : absence de poudrage, couleur, enregistrement en continu).

### 2.6.2.1 Principaux systèmes CFAO et leurs caractéristiques techniques

#### Légendes



#### Systèmes d'empreintes optiques sous forme de Carts



#### Systèmes d'empreintes optiques avec PC portables



#### Systèmes d'empreintes optiques monoblocs portatifs



Figure 8 Revue des différents systèmes de CFAO disponibles sur le marché (Arcaute et Nasr 2017).

### 2.6.2.2 Technologie d'empreinte optique

Schématiquement, nous pouvons distinguer 3 technologies de prise d'empreinte optique :

- **la triangulation active** : l'objet à enregistrer est éclairé par une lumière souvent tramée pour mieux la caractériser. La lumière réfléchi est captée par un récepteur. L'angle entre le faisceau incident et le faisceau réfléchi permet de déterminer la distance de l'objet. (Ex : Cerec<sup>®</sup> Omnicam, Cerec<sup>®</sup> Bluecam, Apollo DI, Carestream CS3500 et CS 3600, Planmeca Planscan) ;
- **la spectrophotogrammétrie** : l'objet à enregistrer est éclairé. L'image de l'objet est captée par 2 récepteurs distants. La distance pour corréler les points sur ces 2 images permet de déterminer la distance à l'objet. (Ex : CondorScan, DWIO, GC Aadva IOS, 3M True Definition Scanner) ;
- **la microscopie confocale** : cette technique consiste à observer l'objet à enregistrer à travers un objectif tout en faisant varier la distance focale. La distance à l'objet correspond à la distance focale pour laquelle l'objet apparaît le plus net. (Ex : 3Shape Trios, iTero Element).

### 2.6.2.3 Type d'acquisition

L'acquisition peut se faire de deux façons :

- **prise de vue image par image** : l'acquisition se fait par une succession de prises d'images rapprochées qui sont ensuite corrélées par le logiciel grâce à leurs parties communes. Ce mode d'acquisition requiert une grande stabilité pour éviter un flou cinétique lors de la prise des images. Le déclenchement est souvent automatisé pour n'avoir lieu que lorsque la caméra est stable. Si ce mode est bien adapté pour des empreintes sectorielles nécessitant peu de clichés, il est en revanche inadapté aux empreintes étendues. Enfin, notons que du fait du nombre réduit d'images, les modèles obtenus selon ce mode d'acquisition demandent peu de puissance de calcul informatique. Ce mode d'acquisition est aujourd'hui rare (Cerec<sup>®</sup> Bluecam, CS 3500) ;

- *prise de vues par flux vidéo* : l'acquisition se fait en survolant les surfaces à enregistrer. Un retour vidéo permet de visualiser le placement de la caméra et la construction du modèle. Un signal visuel et sonore accompagne la prise de vue et indique quand les données sont exploitables ou non (décrochage de la caméra).

En cas de décrochage, il suffit de revenir sur une zone précédemment enregistrée pour reprendre. Ce mode d'acquisition sous forme de film autorise une grande liberté de mouvement, mais un chemin de scannage doit être respecté. Il génère aussi un très grand nombre d'images et donc des fichiers très lourds demandant une puissance de calcul informatique d'autant plus grande que l'empreinte est étendue.

A l'heure actuelle, toutes les innovations se font en faveur de ce dernier mode d'acquisition (Arcaute et Nasr 2017).

#### 2.6.2.4 Ergonomie de la caméra

La technologie employée influence directement la taille de la pièce à main et le volume de la tête de la caméra. Les systèmes utilisant la microscopie confocale, possédant des éléments optiques en mouvement (moteurs), nécessitent des pièces à main plus encombrantes et lourdes. Au contraire, les systèmes à base de spectrophotogrammétrie, de conception plus « simple » présentent des pièces à main très réduites et légères (fig. 9).



*Figure 9 Comparaison des tailles de différentes caméras d'empreintes optiques par rapport à une turbine dentaire : a) Turbine, b) DWIO, c) CondorScan, d) CS3600, e) Omnicam, f) Trios 3 (Arcaute et Nasr 2017).*

Le poids des caméras varie ainsi de 70 g à plus de 700 g.

Plus encore que le poids, l'équilibre de la caméra est primordial afin d'assurer une stabilité et une maniabilité optimale lors de la prise d'empreinte.

Enfin, la taille de la tête de la caméra est variable en fonction des systèmes.

Si une tête large promet un champ d'acquisition plus important, elle peut aussi entraîner un accès difficile à certaines zones et un inconfort pour le patient. Certaines caméras proposent des embouts interchangeables de tailles différentes afin de s'adapter à la situation clinique.

#### *2.6.2.5 Poudrage*

L'évolution tend vers des acquisitions sans poudrage préalable, mais certains systèmes requièrent encore l'application d'une fine poudre mate projetée sur les surfaces à scanner (Apollo DI, DWIO, 3M TDS).

Si le poudrage actuel ne cherche plus à recouvrir toutes les surfaces d'une couche de poudre afin d'en unifier l'aspect de surface (ce qui pouvait rendre son dosage difficile à appréhender et exiger un réel apprentissage, ex : Cerec<sup>®</sup> Bluecam), il n'en reste pas moins exigeant quant à son homogénéité et à l'isolation des fluides buccaux.

Les caméras sans poudrage peuvent cependant occasionnellement nécessiter un léger poudrage pour l'enregistrement de zones particulièrement brillantes (restaurations métalliques par exemple). Notons cependant, que d'une manière générale, même dans les cas où il n'est pas nécessaire, le poudrage améliore la qualité de l'empreinte (Arcaute et Nasr 2017)(Cazier et Moussaly 2013).

#### *2.6.2.6 Couleur ou monochrome*

Les systèmes avec poudrage génèrent par définition des modèles monochromes rappelant l'aspect du plâtre. Les systèmes dits « sans poudrage » (mais pas tous) permettent l'obtention de maîtres modèles en couleur avec transposition, plus ou moins réaliste, des couleurs des tissus enregistrés. Il est toutefois possible à tout moment de basculer sur un affichage monochrome.

Les 2 modes d'affichage sont complémentaires. La couleur permet parfois une meilleure lecture de certains éléments, comme les limites de préparation lorsque celles-ci sont juxtaposées.

Certains systèmes « couleur » peuvent également donner simultanément la teinte des dents (3Shape Trios Color).

### 2.6.3 Utilisation de l’empreinte optique

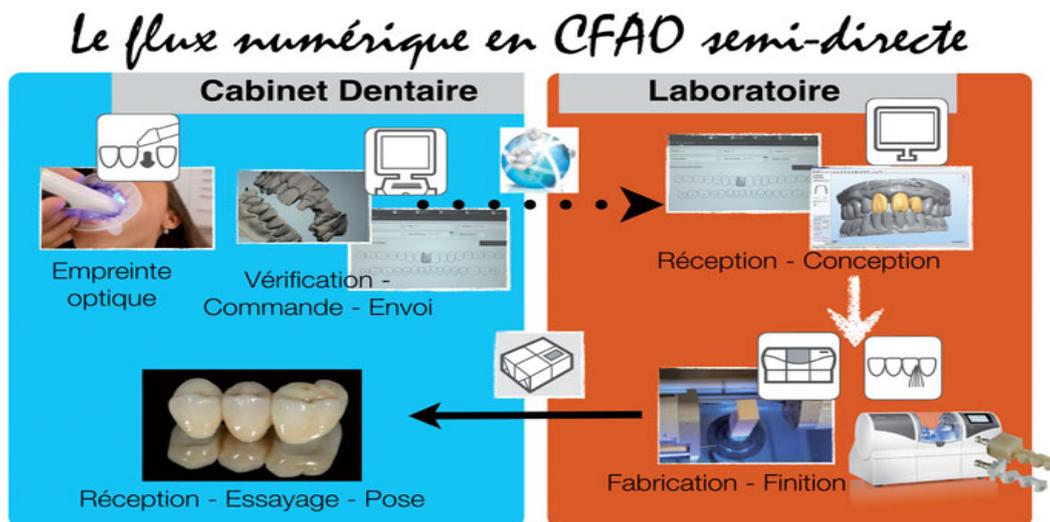
Les données issues de l’empreinte optique peuvent être traitées de deux façons :

#### 2.6.3.1 CFAO semi-directe : partage des tâches numériques

Le cabinet accueille une caméra intra-orale associée à son ordinateur de traitement des données. Le praticien réalise ainsi la numérisation pour obtenir un maître modèle virtuel.

Ce maître modèle virtuel est ensuite envoyé au laboratoire de prothèse qui réalise les tâches de conception par CAO, de préparation à la production par FAO et d’usinage de la prothèse.

La réorganisation du cabinet est moins importante que pour la CFAO directe.



*Figure 10 Flux numérique en CFAO semi-directe*

Un espace proche du fauteuil doit être disponible pour accueillir la caméra et l’ordinateur de traitement des données. Commercialement, l’ensemble peut se présenter sous la forme d’une station d’accueil sur roulettes permettant d’embarquer la caméra, l’écran et l’unité centrale de l’ordinateur. De nouvelles solutions proposent des caméras « plug and play » pouvant directement être branchées sur un ordinateur portable suffisamment puissant pour réaliser le traitement des données (Soenen 2014).

Tout comme pour la CFAO directe aucun espace n’est nécessaire pour stocker des modèles, les maîtres modèles virtuels étant enregistrés sur disque dur.

Pour le patient, cette approche permet de s'abstenir des contraintes de l'empreinte traditionnelle, notamment face au risque nauséux, et de bénéficier de la précision et de la modernité des systèmes de CFAO. De ce point de vue nous notons la même qualité d'ajustage des restaurations cliniques en CFAO directe, et semi-directe (Schaefer et al. 2014)

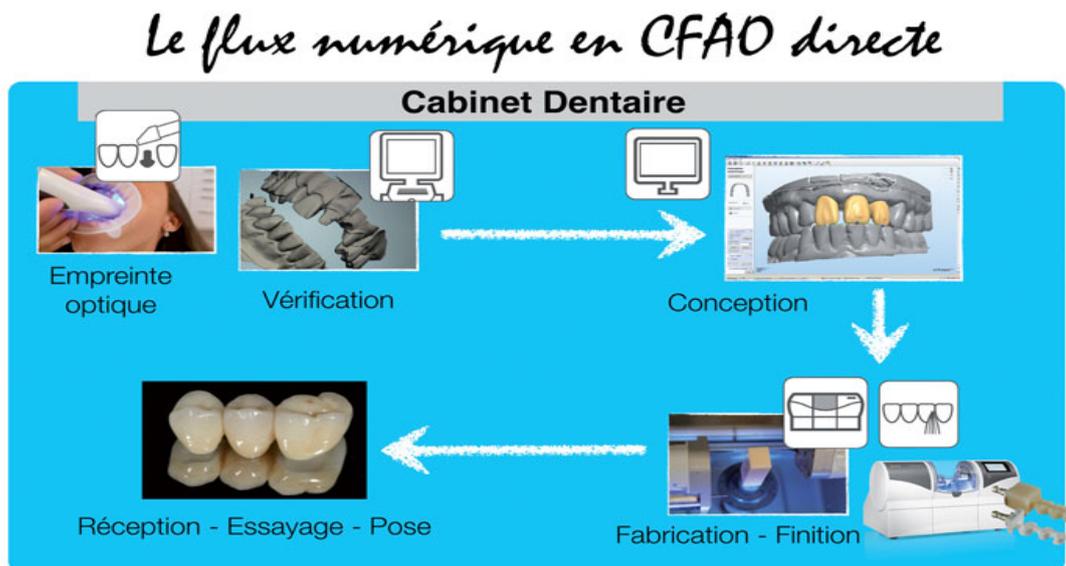
Néanmoins, dans le cadre de la CFAO semi-directe il est important de connaître le logiciel de CAO utilisé par le laboratoire partenaire. En effet, l'échange de données entre le maillon numérisation au cabinet et le maillon conception au laboratoire, doit se réaliser sans altération des données numériques. Les fichiers informatiques issus du traitement des données de la caméra doivent pouvoir être lus et interprétés par le logiciel de CAO du laboratoire de prothèse afin de pouvoir réaliser par la suite la conception de la prothèse.

Dans ce cadre, il semble que très souvent le choix du système de numérisation au cabinet est guidé par le système de CAO utilisé par le prothésiste et non l'inverse.

Un des avantages mis en avant par les utilisateurs de la CFAO semi-directe est la disparition de l'échange de modèle physique par coursier avec le prothésiste (Cazier et Moussaly 2013).

### 2.6.3.2 La CFAO directe.

L'ensemble de la chaîne numérique est implanté dans le cabinet dentaire.



*Figure 11 Flux numérique en CFAO directe*

Le cabinet est ainsi équipé d'un premier maillon constitué d'un équipement d'acquisition intra-oral, commercialisé sous le terme de caméra intra-orale ou dispositif d'empreinte optique.

Avec cet équipement, le praticien réalise la numérisation de la denture du patient préalablement préparée pour recevoir une prothèse. A la suite de cette numérisation, le praticien dispose d'un maître modèle virtuel sur lequel il va concevoir la prothèse dans un second maillon numérique constitué d'un logiciel de CAO. Une fois la prothèse conçue, les tâches de FAO sont réalisées automatiquement, sans autre intervention du praticien que l'éventuel choix de la taille du bloc et/ou le positionnement de la restauration au sein du bloc. La FAO est ainsi directement intégrée avec le logiciel CAO et l'ensemble CAO et FAO est commercialisé sous le terme de logiciel CFAO.

Une fois les tâches de FAO réalisées, le programme est automatiquement transféré à la machine d'usinage. Le praticien n'a qu'à monter le bloc de matériau adéquat et vérifier l'état de fonctionnement de la machine avant de démarrer l'usinage. Enfin la machine-outil à commande numérique est implantée au sein du cabinet et commercialisée sous les termes d'usineuse ou machine d'usinage.

Le système d'usinage peut être :

- **prioritaire** : le logiciel de CFAO et l'unité d'usinage sont spécifiques au système d'empreinte optique utilisé (CEREC<sup>®</sup> + MC Compact, CEREC<sup>®</sup> + MCXL) ;
- **ouvert** : le logiciel de CFAO et l'unité d'usinage peuvent traiter des empreintes optiques issues de différents systèmes (LAVA COS + LYRA, LAVA TDS + LYRA, TRIOS + LYRA) (Cazier et Moussaly 2013).



*Figure 12 Les étapes de CFAO directe au cabinet dentaire (Système Cerec<sup>®</sup> de Sirona).*

*1 : Empreinte optique intra-buccale avec la Bluecam Cerec<sup>®</sup>.*

*2 : Conception de la pièce prothétique sur le logiciel de CAO Cerec<sup>®</sup>.*

*3 : Usinage par la machine-outil à commande numérique Cerec<sup>®</sup> MC XL, au sein du cabinet dentaire.*

L'utilisation de la CFAO directe apporte un confort pour le praticien ainsi que pour le patient. Elle donne la possibilité au praticien de raccourcir la chaîne de réalisation tout en étant acteur décisionnaire des formes et des fonctions de l'élément obtenu.

Le praticien doit connaître les possibilités et les limites de cet outil. Une parfaite connaissance des matériaux de restauration disponibles et des moyens d'assemblage adaptés est cependant indispensable avant d'initier une chaîne de CFAO directe, que ce soit pour les propriétés des matériaux ou pour leur protocole de mise en œuvre (Moussally et al. 2009; Cordelette et Jordan Combarieu 2014).

### *2.6.3.3 Sous-traitance : limitations des moyens numérique*

La sous-traitance de certaines tâches de CFAO à un laboratoire de prothèse ou un centre de production est parfois nécessaire. En effet, les praticiens ayant optés pour une production en CFAO directe peuvent être amenés à faire sous-traiter certaines tâches non-réalisables avec les maillons de leur chaîne de CFAO. Il est ainsi possible pour un praticien de pratiquer à la fois de la CFAO directe et de la CFAO semi-directe en partenariat avec un laboratoire de prothèse. La plupart des systèmes de CFAO directe ne permettent pas la conception et la fabrication de certaines prothèses plurales de grande étendue. Beaucoup de systèmes se limitent à des bridges de 3 éléments au maximum. D'autre part, la technologie utilisée dans les machines d'usinage de cabinet ne permet pas d'accéder à certains matériaux. Ainsi, la nécessité d'avoir des équipements plus performants technologiquement peut mener le praticien à faire sous-traiter l'usinage de certaines prothèses en laboratoire ou centre de production.

Pour le cabinet dentaire, le choix d'un « scanner » intra-oral est la première étape dans l'équipement d'un dispositif de CFAO. Si les systèmes les plus récents peuvent manquer de maturité, la précision de l'empreinte optique n'est aujourd'hui plus à démontrer, la plaçant au même niveau, sinon mieux que l'empreinte conventionnelle (Ender et Mehl 2011; Güth et al. 2013).

Ainsi bien qu'important à considérer, ce critère ne peut pas être celui qui doit influencer le choix vers tel ou tel système d'empreinte optique. Il est essentiel de considérer les caractéristiques principales des différents systèmes existants sur le marché pour faire un choix éclairé en fonction de ses besoins et de ses attentes (Cazier et Moussaly 2013; Arcaute et Nasr 2017).

La connaissance de ces différentes chaînes numériques permettra au praticien de choisir le système qui lui convient. Il devra tenir compte de sa pratique, de sa patientèle et de son cabinet. Il est de même primordial de trouver le système qui répondra au mieux aux attentes du tandem prothésiste-praticien. L'investissement financier important et le temps de formation nécessaire sont deux paramètres à ne pas négliger.

#### 2.6.4 L'acquisition extra-orale : CFAO indirecte

En CFAO indirecte, le praticien réalise une empreinte classique physico- chimique, la transmet au prothésiste, qui réalise l'acquisition numérique des données.

Elle est peut-être réalisée au cabinet ou au laboratoire, à partir d'un modèle de travail en plâtre issu d'une empreinte conventionnelle de la situation en bouche.

La numérisation du volume peut être réalisée de manière optique ou mécanique (par palpation du modèle) (Duret et Pelissier 2010).

Le scannage optique est effectué sur l'empreinte ou sur le modèle physique (fig. 13).

Notons que le scannage de l'empreinte permet de s'affranchir de l'étape de coulée en plâtre qui est chronophage et source d'imprécision (Hollender et al. 2014).

La numérisation 3D au laboratoire est généralement obtenue à partir d'un modèle en plâtre coulé issu d'une empreinte classique.

Il existe différentes méthodes de numérisation :

- **méthode par contact ponctuel ou mécanique** : un micropalpeur touche la surface de l'objet et enregistre des points de surface sous la forme de coordonnées x, y et z, alors transmises à un ordinateur. On distingue :
  - la lecture dite universelle (système Procera<sup>®</sup>)
  - la lecture à la « volée » (système Bego<sup>®</sup>) ;
- **méthode par empreinte optique ou ondulatoire** : en projetant un rayonnement laser sur un objet et en mesurant la déformation du rayonnement renvoyé par l'objet.

On distingue :

- la méthode par triangulation
- la méthode par temps de vol

Le fichier informatique obtenu est appelé « modèle numérique 3D ».

Les prothésistes ont à leur disposition de multiples scanners offrant un niveau de précision d'environ 20 microns et ont même la possibilité de scanner des articulateurs afin d'utiliser des articulateurs virtuels (CNIFPD 2009; Berruet et al. 2012)



Figure 13 Numérisation indirecte par scannage optique (Image 3D dental store)

## 2.7 La conception assistée par ordinateur : CAO

### 2.7.1 La modélisation des restaurations

Le sigle CAO signifie Conception Assistée par Ordinateur.

La Conception Assistée par Ordinateur offre la possibilité de réaliser la future prothèse à partir d'un modèle de travail numérique obtenu par numérisation de la préparation.

Pour y parvenir de nombreux logiciels spécifiques sont disponibles (Perelmuter et al. 2009).

#### *2.7.1.1 Logiciels CAO : propriétaires ou dédiés*

Le logiciel de conception peut avoir été développé par le fabricant de la caméra dans le cadre d'une chaîne CFAO directe propriétaire (avec usineuse dédiée). Dans ce cas l'interface est volontairement accessible et simplifiée mais pas simpliste (ex : Cerec<sup>®</sup> SW, CS Restore, Planmeca Romexis).

Le logiciel peut être issu du monde du laboratoire. Il exige que l'empreinte soit au format STL. L'interface est complète et peut apparaître complexe tant les options de travail et les réglages sont nombreux (Exocad, DWOS, 3Shape Dental System).

Le logiciel peut être un « hybride » issu du monde du laboratoire mais rendu accessible pour une utilisation au cabinet (DWOS Chairside CAD, Cerec<sup>®</sup> Premium)(Arcaute et Nasr 2017).

#### *2.7.1.2 Création d'un modèle de travail numérique*

La première étape correspond au traitement de l'image, sélectionnant les points intéressants parmi ceux qui ont été lus par le système de lecture. Ils se présentent sous forme de "nuage de points". Les informations inutiles, redondantes ou aberrantes, sont supprimées.

A l'issue de cette étape, le logiciel peut construire des surfaces en reliant les points retenus par technique de triangulation du maillage de points dans l'espace.

Ces étapes aboutissent à la construction du modèle virtuel, ou MPU numérique (Perelmuter et al. 2009)

Les logiciels de CAO actuels permettent de reproduire tous les gestes effectués au laboratoire. Ils permettent, par exemple, de visualiser l'espace prothétique utilisable, de mettre en évidence les contre-dépouilles ou de tourner le modèle dans tous les sens de l'espace (...)(CNIFPD 2009)

### 2.7.2 Flux de données, systèmes ouverts ou fermés

Les fichiers exportés du cabinet vers le laboratoire de prothèse se font via un portail internet sécurisé.

Le laboratoire de prothèse doit alors pouvoir traiter le fichier reçu issu du scanner intra-oral.

Aujourd'hui le format de fichier STL, s'est imposé comme la référence.

- ***un « système ouvert »*** : signifie qu'il n'y a pas d'encodages supplémentaires et que la compatibilité est garantie, permettant l'utilisation du fichier obtenu sur n'importe quelle autre machine de la chaîne de CFAO.

Le fichier « empreinte » est soit nativement au format STL en sortie de caméra, soit « ouvert » après passage via un « cloud » informatique. Un abonnement au « cloud » sécurisé est souvent nécessaire ;

- ***un système « fermé »*** : signifie que l'information ne peut « circuler » que dans le système dont il est issu (format propriétaire).

Cependant, il est possible d'ouvrir ces fichiers fermés via des passerelles logicielles dédiées.

Nous parlerons plus volontiers de systèmes à « ouverture contrôlée ».

L'ouverture des fichiers impose au laboratoire soit l'achat d'un logiciel spécifique soit d'une licence annuelle(Arcaute et Nasr 2017).

## 2.8 La fabrication assistée par ordinateur : FAO

La fabrication assistée par ordinateur est l'aboutissement de la CAO.

Effectivement, les logiciels de FAO créent le fichier permettant le pilotage de la machine-outil à commande numérique et consiste en deux principales opérations :

La préparation de la fabrication en fonction du procédé de mise en forme et du matériau utilisé.

La création de séquences de mise en forme d'une ou plusieurs maquettes numériques à fabriquer simultanément.

La fabrication est dépendante du type de matériaux utilisés et peut être réalisée suivant 2 principes :

- ***une fabrication soustractive*** : par usineuse ;
- ***une fabrication additive*** : par machines d'impression 3D, stéréolithographie et la microfusion.

### 2.8.1 Les techniques soustractives

La fabrication par technique soustractive ou usinage consiste à mettre en forme un objet par soustraction de matière.

La fabrication soustractive est la technique de mise en forme de matériaux la plus répandue en CFAO dentaire. C'est la seule technique qui permet l'usage de la céramique par CFAO.

De plus, elle offre la possibilité d'usiner plusieurs types de matériaux avec la même machine.

Cette technique permet aujourd'hui d'usiner de la zircone pré-frittée, des matériaux calcinables et plastiques.

Certains centres d'usinage sont équipés de machines capables d'usiner le titane, le cobalt-chrome et la zircone frittée.

L'usinage de la pièce peut se faire selon trois, quatre ou cinq axes :

Les machines trois axes sont suffisantes pour usiner des couronnes, des chapes et des bridges.

Le nombre d'éléments d'un bridge dépend du bloc à usiner supporté par la machine.

Elles permettent également d'usiner des barres à sens d'insertion simple.

Les machines quatre axes permettent d'étendre l'usinage à la fabrication des piliers.

Les machines cinq axes sont nécessaires pour usiner des suprastructures complexes, telles que des barres à directions divergentes ou pour l'usinage simultané d'une série de piliers.

L'élément prothétique est traité suivant 2 protocoles :

Le premier fournit la restauration complète à partir d'un bloc de céramique (monolithique).

Le second permet seulement l'usinage de la chape qui subira en laboratoire le montage de la céramique cosmétique, par stratification. La deuxième solution s'applique pour les cas plus complexes, et esthétiques. Elle nécessite cependant de mettre au point des céramiques cosmétiques compatibles avec les céramiques d'infrastructures.

L'usinage est la technique qui offre le plus de précision, elle est donc indiquée dans la réalisation des suprastructures implantaires nécessitant une excellente passivité.

Cependant, cette technique engendre des pertes importantes de matériaux lors de l'usinage.

Pour y pallier, les logiciels de FAO optimisent des séquences d'usinage( UNGER 2005; CNIFPD 2009; JOULLIE et al. 2011).

### 2.8.2 Production par fabrication additive

La fabrication additive consiste en la mise en forme d'un objet par ajout de matière par empilement de couches successives.

On parle dans ce cas de « fabrication directe » car on forme une pièce directement à partir de sa représentation numérique 3D, sans passer par un moule ou par l'usinage d'un bloc.

Elles permettent la confection de plusieurs pièces simultanément ayant une anatomie complexe, des technologies et des machines différentes sont utilisées en fonction du matériau à usiner.

En effet les techniques de conception soustractives assistées par ordinateur (CAO) et de fabrication assistée par ordinateur (FAO) ont entraîné des améliorations majeures de la dentisterie. Ils permettent de produire des restaurations fiables avec des dimensions précises et de réduire le temps de fabrication.

Cependant, ces processus sont limités par le gaspillage de matières premières (perte de portions inutilisées de blocs et difficulté à recycler les excès de matériaux) et par une forte usure des outils de fraisage. Les fissures microscopiques, qui peuvent affaiblir les restaurations, peuvent également apparaître dans les objets en raison du processus de fraisage.

Les processus de fabrication d'additifs évitent ces limitations en construisant des objets couche par couche. Bien que de tels procédés soient déjà utilisés pour la fabrication de prototypes métalliques et polymères, la mise en forme de la céramique pour les applications dentaires en est encore à son enfance (Denry et Kelly 2014; Eckel et al. 2016)(CNIFPD 2009).

La fabrication "directe" est utilisée pour les armatures métalliques (cobalt-chrome par micro-fusion laser) en prothèse amovible. La réalisation de guides implantaires, de prothèses temporaires fixées, et de gouttières orthodontiques, est aussi envisagée par cette technique.

La technique additive regroupe différents types de technologies :

### *2.8.2.1 Impression 3D par dépôt en jets multiples*

Cela consiste en un modelage par dépôt sélectif en jets multiples d'une cire durcie par chauffe ou d'une résine photosensible liquide durcie par polymérisation UV.

Utilisés pour la confection de pièces en résine ou en cire destinées à être utilisées comme modèles pour la fonderie à la cire perdue.

Le fonctionnement de ces machines est similaire à l'impression par jet d'encre.

Elles sont facilement utilisables, la productivité est bonne mais chaque machine ne peut fonctionner qu'avec un seul matériau défini, le coût de celui-ci est élevé (CNIFPD 2009).

### *2.8.2.2 La Stéréolithographie par UV sélectif*

Cela consiste en un modelage par polymérisation UV sélective d'un mélange cire/résine liquide photosensible contenue dans une cuve.

Elle commence à être utilisée aujourd'hui en cabinet, du fait de la taille réduite des imprimantes, pour la réalisation par exemple de guide implantaire ou bien de gouttière en orthodontie.

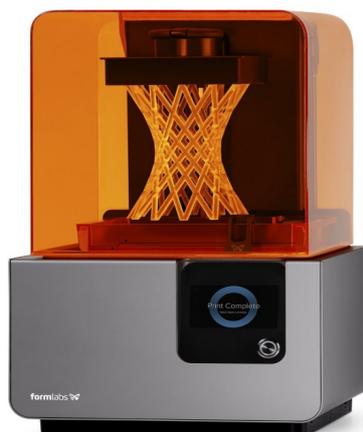


Figure 14 Imprimante Formlab Form 2 (Image Formlabs).

### 2.8.2.3 *La Microfusion (ou Frittage Laser)*

Le procédé consiste à fondre la poudre selon les paramètres géométriques définis à partir du fichier CAO, puis la poudre fondue est solidifiée rapidement formant des cordons de matière solide.

De toutes les techniques de fabrication additive, la fabrication directe, par frittage ou micro-fusion de poudres, est sans nul doute celle qui a le plus de devenir pour la fabrication d'armatures et de châssis en métaux durs car elle est parfaitement adaptée à la production de masse personnalisée, plus rapide et plus rentable que le procédé de fonderie ou d'usinage.

Les possibilités de production directe en « bonne matière » sont encore très limitées. Il est possible de réaliser en métal des châssis imprimés, des armatures et couronnes sur dents naturelles, des armatures et piliers transvissés, des bridges transvissés, des barres latissse implantaires, des guides chirurgicaux, des gouttières, des PEI, des bases de complets amovibles, des couronnes, inlays/onlays/overlays, facettes en composite, des inlays-core, des maquettes d'essayage prothèse amovible (Sirex et Soenen 2017)

## 2.9 La CFAO face à la législation dentaire

### 2.9.1 Traçabilité des dispositifs médicaux sur mesure

L'évolution de la législation sur les dispositifs médicaux sur mesure (DMSM), tels que les prothèses dentaires, impose que le fabricant et les matériaux utilisés soient traçables.

Lorsque le chirurgien-dentiste fait réaliser la prothèse par un prothésiste dentaire, il doit s'assurer :

- que le prothésiste est identifié comme tel auprès des autorités sanitaires ;
- que remplir une fiche navette, ou de traçabilité, pour chaque prothèse.

La prothèse doit être livrée au chirurgien-dentiste avec une déclaration de conformité aux exigences essentielles mentionnées aux articles R. 5211-21 à R. 5211-23 du Code de la santé publique.

En effet, le prothésiste doit garantir que les caractéristiques spécifiques de la prothèse sont en conformité avec toutes les exigences de la directive 93/42/CEE du 14 juin 1993 relative aux dispositifs médicaux (Ordre National des Chirurgiens 2014).

A l'issue de l'acte prothétique, le chirurgien-dentiste remet au patient la déclaration de conformité du dispositif médical (article L. 1111-3 du Code de la santé publique ; devis unique). Cette déclaration doit également être versée au dossier médical et tenue à la disposition du patient (article R. 5211-51 du Code de la santé publique)(Ordre National des Chirurgiens 2014).

Cette situation est rencontrée de manière traditionnelle mais aussi en technique semi-directe et indirecte.

Cependant en technique directe, le chirurgien-dentiste est considéré comme le fabricant du DMSM. Dans ce cas, il doit se déclarer en tant que fabricant auprès de l'Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé (ANSM). Par son statut de fabricant, le praticien qui recourt à un procédé de CFAO a une obligation de résultat et doit, pour chaque prothèse fabriquée, établir une déclaration de conformité de la prothèse dentaire.

A l'issue de l'acte prothétique, le chirurgien-dentiste remet au patient la déclaration de conformité du dispositif médical (article L. 1111-3 du Code de la santé publique ; devis unique). Cette déclaration est versée au dossier médical et tenue à la disposition du patient (article R. 5211-51 du Code de la santé publique).

Cette déclaration doit également être tenue à la disposition du directeur général de l'ANSM, pendant au moins cinq ans (Ordre National des Chirurgiens 2014).

Concernant les matériaux en technique de CFAO, ils sont particulièrement bien adaptés au principe de traçabilité.

Effectivement, les blocs de céramique sont tous identifiés par un code barre et disposent parfois d'une carte à puce individuelle, ces éléments étant à conserver au sein du dossier médical.

### 2.9.2 Gestion du dossier médical et CFAO

La CFAO répond aussi à une contrainte majeure, celle du stockage des moulages des arcades dentaires.

Effectivement, les recommandations de l'Agence Nationale d'Accréditation et d'Evaluation en Santé (ANAES) stipulent, en ce qui concerne le dossier du patient en odontologie, que les moulages sont une partie intégrante du dossier médical et, à ce titre, doivent être classés et archivés en tant qu'examens complémentaires.

"Les moulages font partie intégrante du dossier. Il faut les identifier, à l'aide du numéro de consultant, et les dater. Il faut les archiver de façon à pouvoir les retrouver.

Il existe des systèmes informatiques de numérisation qui permettent d'archiver en trois dimensions les moulages. Cette méthode est récente, et l'exploitation à long terme de ces images pose le problème de leur archivage dans un format qui pourrait être lu, même de nombreuses années plus tard." (ANAES 2000).

Le dossier informatique du patient est valorisé par les recommandations de l'ANAES, pour sa facilité d'accès et de stockage de l'ensemble des données. Il est soumis à déclaration auprès de la Commission Nationale de l'Informatique et des libertés (CNIL) dans un souci de confidentialité.

"Par manque de place, les praticiens éliminent les anciens dossiers ou les stockent dans des endroits difficiles d'accès, d'où il leur est ensuite difficile d'extraire rapidement un dossier, sans parler de leur détérioration. Les dossiers informatiques, au contraire, ne prennent pas de place. Il est même possible de numériser des moulages d'étude et de les stocker électroniquement" (ANAES 2000).

"La nécessité de garder la confidentialité des données fait obligation au chirurgien-dentiste de déclarer à la Commission nationale de l'informatique et des libertés (CNIL) ses fichiers de gestion de patients" (ANAES 2000).

L'informatique et la numérisation ainsi que les capacités de stockage en CFAO offrent de grands avantages tant d'un point de vue médico-légal, que pratique, au chirurgien-dentiste. La CFAO rend possible la conservation des modèles virtuels et des données relatives aux prothèses.

Nous avons vu qu'il existait 3 types de CFAO : directe, semi-directe et indirecte. Dans le cas de la technique indirecte, le praticien n'a aucun investissement (sauf s'il désire s'équiper d'un scanner d'empreinte).

## 2.10 Cout de la CFAO

### 2.10.1 Cout de la CFAO semi-directe

Pour ce qui est de la CFAO directe et semi-directe, le praticien doit s'équiper d'une caméra intra-orale.

Les prix varient de 20.000€ pour la Condorscan<sup>®</sup> à 49.000€ pour la Trios<sup>®</sup> par exemple. Pour les caméras Sirona<sup>®</sup>, l'achat mais aussi la location est possible. Certaines marques proposent

de prêter gratuitement la caméra au dentiste à condition de produire un certain nombre d'éléments prothétiques par mois.

A ce coût d'achat peuvent s'ajouter des dépenses annexes.

En effet, la maintenance du matériel ainsi que l'évolution des logiciels, de l'informatique et des techniques de caméra, peuvent impacter sensiblement un budget selon les marques.

L'investissement du praticien ne s'arrête donc pas simplement à l'achat de la caméra, mais s'étend à de nombreuses dépenses annexes que le dentiste devra bien prendre en compte avant d'envisager un tel investissement.

### 2.10.2 Coût de la CFAO directe

Pour les praticiens souhaitant réaliser de la CFAO directe au cabinet, s'ajoute à la caméra, l'achat d'une usineuse, d'un four ainsi que le matériel pour l'usinage, ce qui représente un investissement supplémentaire non négligeable.

En effet, le coût de l'ensemble scanner et poste de CAO est compris entre 20 000€ et 35 000€. Pour l'unité de production, il faudra compter entre 40 000 et 170 000€ pour une usineuse et un four (CNIFPD 2009).

Afin de réaliser les éléments prothétiques, il est nécessaire pour le dentiste d'acheter différents matériaux :

- les blocs de CFAO. Il a le choix entre différentes marques, proposant chacune différentes gammes de teintes.

Un bloc de CFAO ne sert en général que pour une seule restauration. La boîte de 5 blocs coûte en moyenne 150€, et il faut compter dans les 270€ en moyenne pour une boîte de 5 blocs de grandes tailles (type Emax Zir Cad taille B40 d'Ivoclar Vivadent®).

- le matériel pour réaliser le maquillage des éléments prothétiques. Pour une boîte contenant une palette de plusieurs couleurs avec les pinceaux, il faut compter en moyenne 450€. Il est également possible d'acheter un flacon de 15mL à l'unité, au coût de moyen de 55€.

- les fraises des machines. Au bout de 25 usinages, en moyenne, il est nécessaire d'effectuer le changement de ces fraises (Sirona® 2012). Leur nombre est dépendant du nombre d'axes de l'usineuse choisie : il peut y en avoir 3 ou 5.

Un lot de 6 fraises, pour une usineuse MC XL de chez Sirona® par exemple, coûte environ 200€.

### 2.10.3 Rentabilité de la CFAO

#### 2.10.3.1 *Aspects négatifs*

On observe une évolution constante et rapide du numérique, entraînant l'obsolescence des différents systèmes achetés au fur et à mesure de l'évolution. Le praticien et le prothésiste investissent dans des machines qui risquent de ne plus être adaptées par rapport aux dernières avancées. Il s'agit donc d'un gros investissement, qu'il faudra rentabiliser assez rapidement, sinon le praticien risque d'utiliser des instruments désuets car faute de rentabilité, il ne pourra les remplacer.

Avant d'entamer un tel investissement, il est important de savoir si cet investissement répond à notre demande quotidienne : « adapter le traitement au patient et non le patient au traitement » !!

Il est nécessaire également de se poser plusieurs questions :

- le **nombre d'éléments prothétiques** qu'il sera nécessaire de réaliser dans le mois afin d'être rentable ;
- la manière **d'organiser son planning** pour être le plus efficace possible et ne pas perdre de temps.

En effet, comme vu précédemment, les différentes machines et éléments consommables ont un coût important et il faut pouvoir rentabiliser ce coût. En fonction du type de CFAO effectuée, l'investissement sera plus ou moins important.

De plus, lors de la pratique de la CFAO directe, il faut prendre en compte le temps pendant lequel le patient n'est pas sur le fauteuil et le dentiste doit réaliser la conception de la prothèse, procéder à l'usinage et éventuellement au maquillage et à la cuisson de la pièce.

Ces moments de travail annexe, peuvent être considérés comme une perte de temps, et donc une perte de revenu.

Certains praticiens forment leurs assistantes à la réalisation de quelques-unes de ces étapes pour les décharger nécessitant alors une organisation particulière du planning.

Or les assistantes ne sont ni qualifiées, ni compétentes pour faire cela.

### 2.10.3.2 Aspects positifs

Il est réducteur d'associer la rentabilité à l'aspect purement financier de cette pratique.

Il est facile d'identifier un certain nombre d'aspects positifs liés à cet investissement.

- **aspect temps** : une empreinte plus rapide qui ne nécessite pas de rétraction gingivale. La prothèse peut être effectuée en une seule séance et dans le cas contraire, avec un délai de laboratoire réduits.  
Cependant cela s'applique dans des cas de préparation simple et supra-gingivale.
- **aspect Compétences** : le grossissement des préparations jusqu'à 30 fois lors de l'empreinte permet d'améliorer ses préparations ainsi que de contrôler les axes d'insertion, les contre-dépouilles. L'acquisition de nouveaux matériaux ainsi que le développement de compétences de collage.
- **aspect relation avec le laboratoire** : on note une qualité des empreintes augmentée, une transmission facilitée des empreintes, une possibilité pour le laboratoire de faire valider la conception avant usinage de la dent.
- **aspect relation avec le patient** : Pas de matériaux à empreinte en bouche. Une utilisation de matériaux à haute biocompatibilité. On note également, la possibilité pour le patient de suivre l'empreinte, grâce à un écran dédié, la conception, l'usinage et le maquillage de sa prothèses.

Tous ces points représentent une liste non exhaustive et chaque praticien peut découvrir, avec le temps et l'évolution de la technique, de nouveaux avantages à utiliser cette méthode (Veillerant 2017).

En conclusion le praticien devra tenir compte de sa pratique, de sa patientèle et de son cabinet. Il est de même primordial de trouver le système qui répondra au mieux aux attentes du tandem prothésiste-praticien. L'investissement financier important et le temps de formation nécessaire sont deux paramètres à ne pas négliger.

### **3. Enquête auprès des praticiens en Ile de France**

#### **3.1 Objectifs de l'enquête**

Depuis les années 80 où elle a vu le jour, la CFAO n'a cessé d'évoluer et de se perfectionner dans le domaine de l'odontologie.

On la retrouve aujourd'hui dans toutes les disciplines d'odontologie, avec des indications plus ou moins étendues.

Mais cette révolution technologique soulève des interrogations :

Le coût de l'équipement reste-t-il encore rédhibitoire ? L'engouement suscité par ces systèmes, notamment via les revues et congrès scientifiques, se vérifie-t-il dans les cabinets dentaires et sous quels aspects ? Sous quelles formes cette technique impacte-elle la pratique quotidienne des chirurgiens-dentistes ? La communication avec le patient et le prothésiste en est-elle modifiée ? La multiplicité des systèmes ainsi que leur mise en œuvre nécessite-t-elle une formation d'accompagnement des praticiens dans cette pratique ? ...

Nous avons donc décidé de réaliser une enquête afin de connaître la perception et l'impact de la CFAO sur la pratique quotidienne, des chirurgiens-dentistes dans la région d'Ile de France en 2017.

#### **3.2 Matériel et méthode**

Nous avons rédigé un questionnaire comportant entre 20 et 33 questions. Selon la réponse à la question 7, ceux ayant répondu positivement, étaient redirigés vers d'autres questions approfondissant le sujet.

Ces questions sont résumées dans le tableau suivant :

<b>Nombre de questions</b>	<b>Thème</b>
<b>1 à 6</b>	Renseignements généraux sur l'échantillon
<b>7</b>	Utilisez-vous la CFAO ?
<b>8 à 21</b>	Utilisation de la CFAO au cabinet
<b>22 à 33</b>	Questions plus générales sur la CFAO en odontologie et son impact sur la pratique en cabinet.

### 3.2.1 Diffusion du questionnaire

Cette enquête épidémiologique descriptive observationnelle transversale, cible les praticiens de la région Ile de France.

Nous les avons contactés par courriel et par internet via les réseaux sociaux, en les invitant à remplir le questionnaire en ligne, sur la plate-forme GoogleForm, permettant également la collection des résultats en ligne.

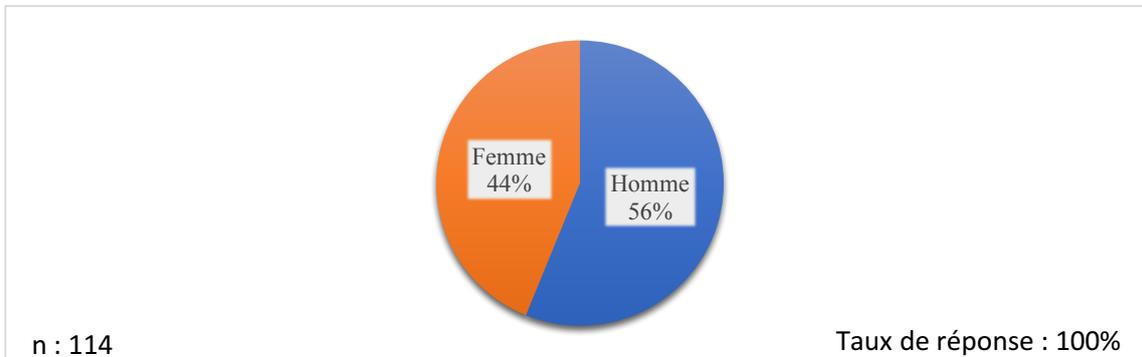
Au total nous avons obtenu 116 réponses

Pour le traitement des résultats nous avons exclu 2 réponses car deux praticiens avaient rempli 2 fois le même questionnaire.

Les données ont donc été traitées sur la base de 114 réponses.

### 3.3 Résultats

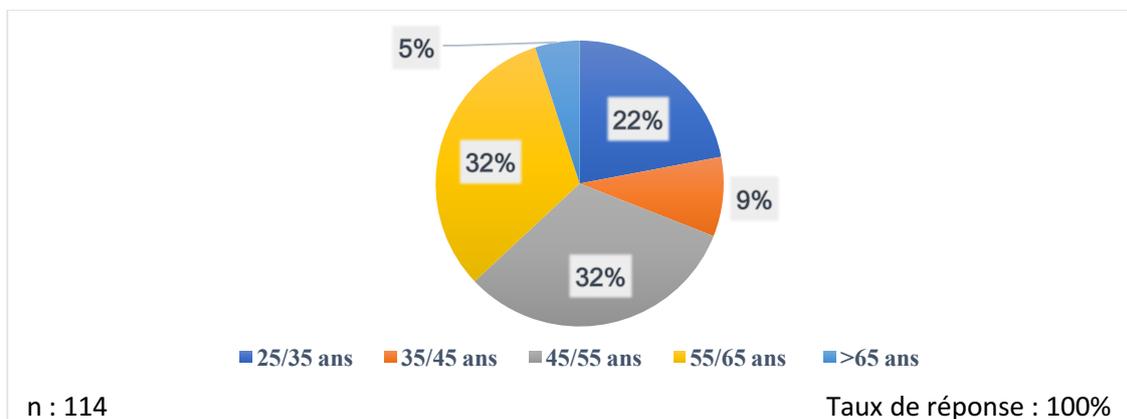
#### 3.3.1 Le sexe



*Figure 15 Sexe des praticiens*

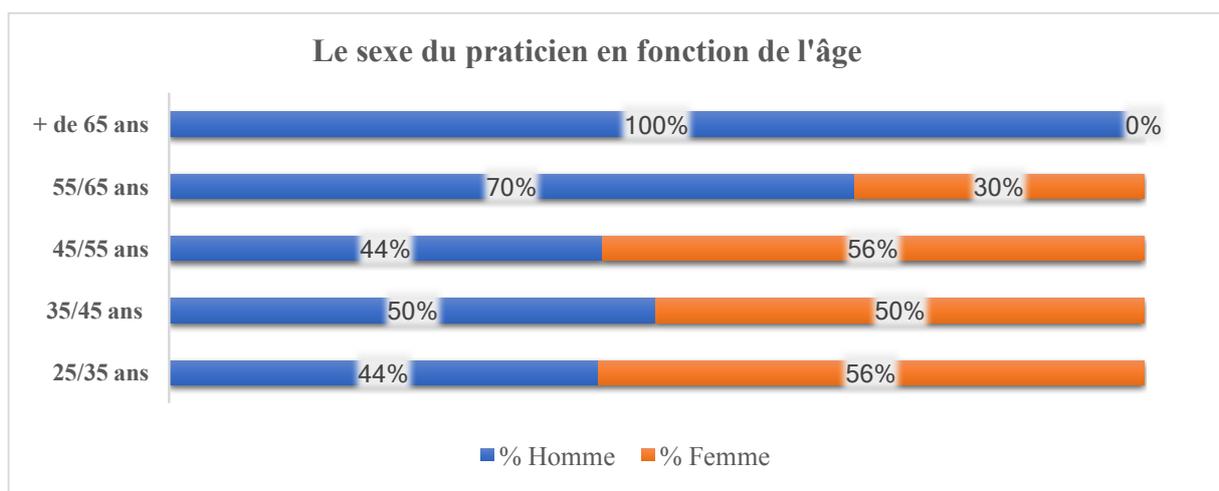
D'après la figure 15, il y a une majorité d'hommes qui ont répondu au questionnaire 56 % contre 44 % de femmes.

#### 3.3.2 La tranche d'âge



*Figure 16 Tranche d'âge*

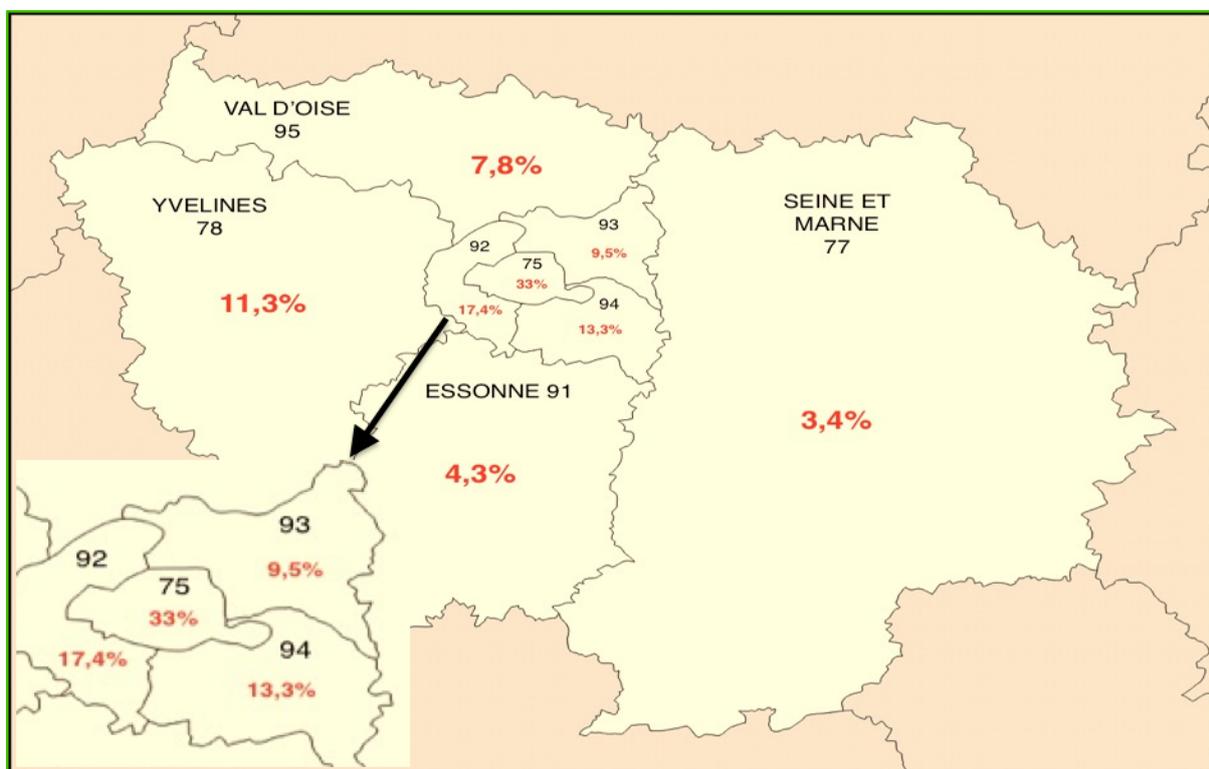
Selon la figure 16, la majorité des praticiens sondés ont entre 45 et 65 ans. 22 % d'entre eux ont entre 25 et 35 ans. 9 % ont entre 35 et 45 ans. Seulement 5 % des praticiens ont plus de 65 ans.



*Figure 17 Répartition des hommes et des femmes en fonction de leur âge*

D'après la figure 17, nous constatons que la répartition entre les femmes et les hommes sondés n'est pas égale selon la tranche d'âge. Jusqu'à l'âge de 55 ans la répartition est quasi identique avec une petite majorité de femmes. Au-delà de 55 ans la tendance s'inverse. Entre 55 et 65 ans il y a 70 % d'hommes pour 30 % de femmes pour la même tranche d'âge. Au-delà de 65 ans, il n'y a que des hommes qui ont répondu au questionnaire.

### 3.3.3 Répartition géographique des praticiens sondés



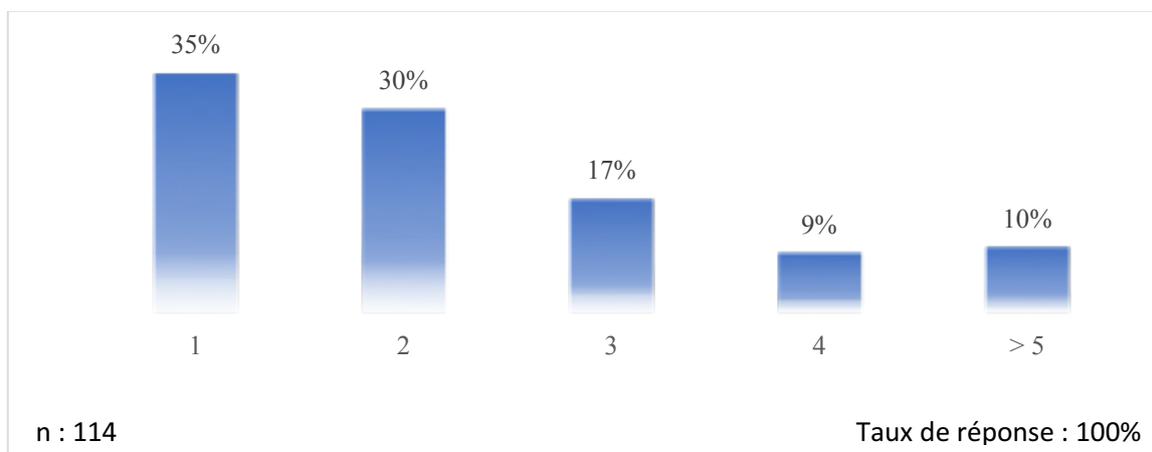
*Figure 18 Répartition géographique des praticiens d'Ile de France ayant répondu à l'enquête.*

On note dans la figure 18 que plus on s'éloigne de Paris et plus le nombre de praticiens ayant répondu à l'enquête diminue. On a comme maximum Paris avec 33 % des réponses et comme minimum le département Seine et Marne avec 3,4 % des réponses.

### 3.3.4 Temps d'exercice

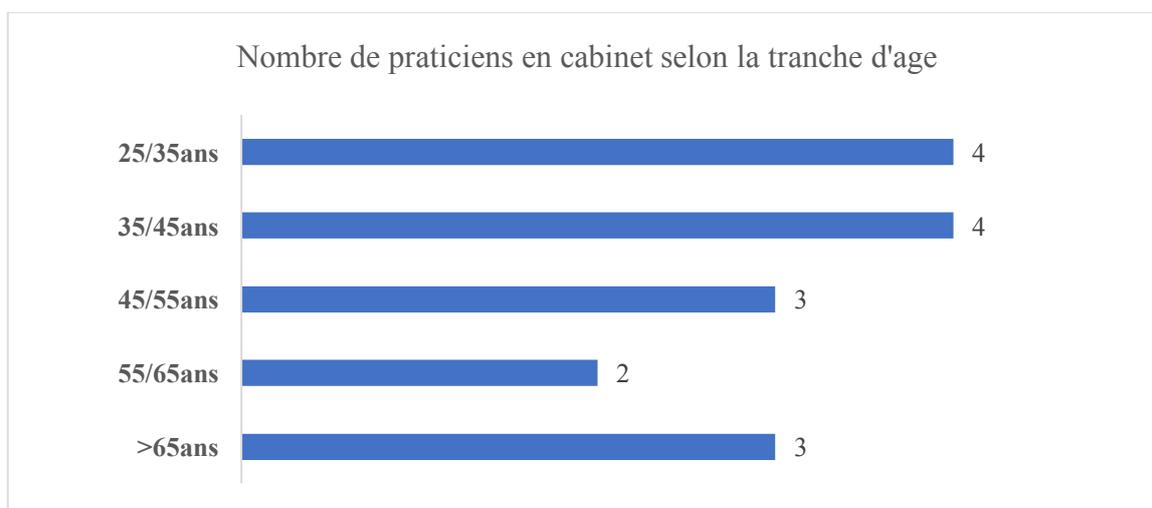
Le temps moyen d'exercice des praticiens ayant répondu à l'enquête est de 22 ans

### 3.3.5 Nombre de praticiens en cabinet



*Figure 19 Nombre de praticiens au cabinet*

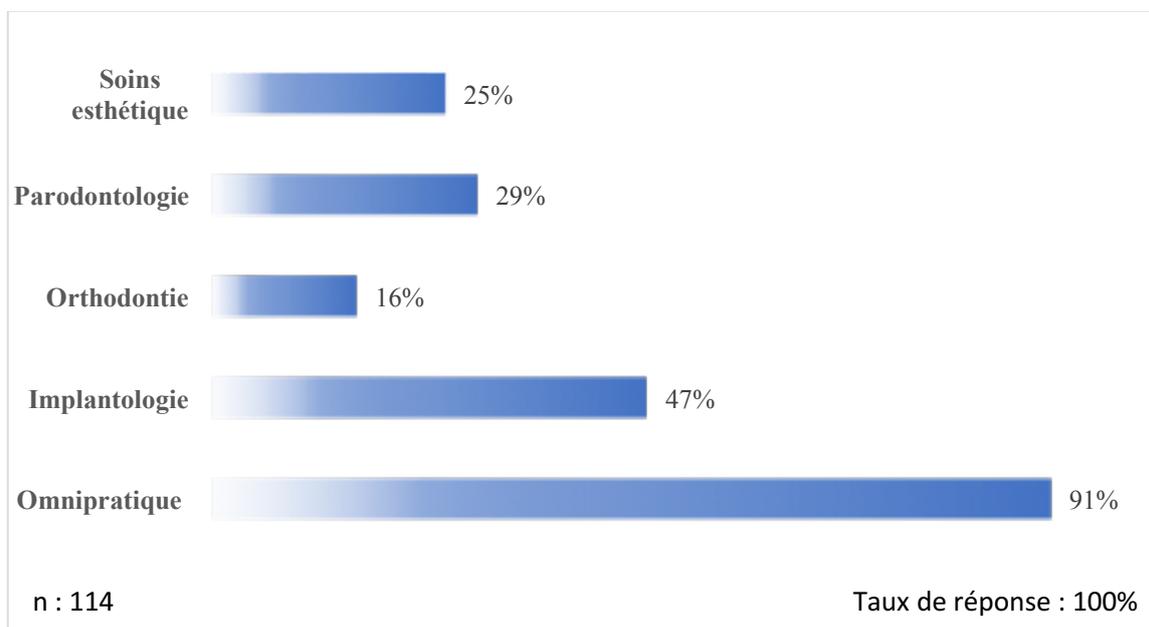
La figure 19 nous indique que la majorité des praticiens sondés travaillent soit seul soit à deux en cabinet.



*Figure 20 Nombre de praticiens en cabinet en fonction de l'âge*

On observe dans la figure 20 que les 25/45 ans sont en moyenne 4 en cabinet contre 3 pour les 45/55 ans et 2 pour les 55/65ans. Les plus de 65 ans sont en moyenne 3.

### 3.3.6 Orientation de l'activité du cabinet

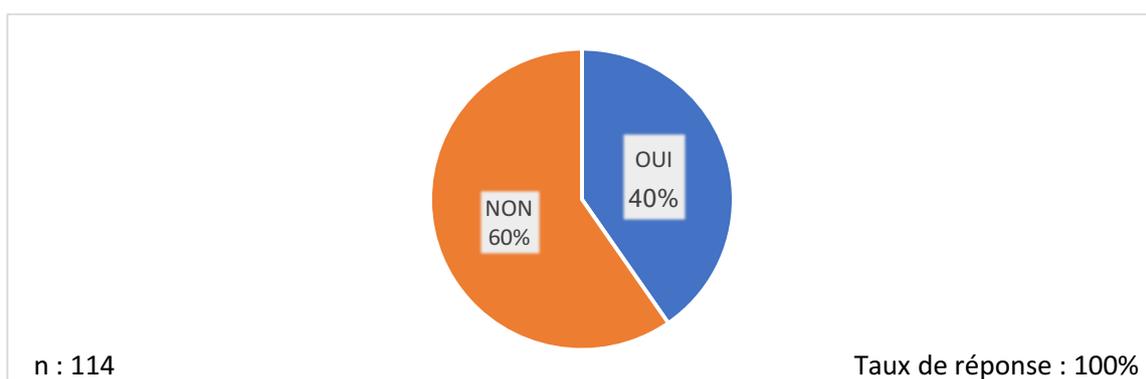


*Figure 21 Orientation de l'activité du cabinet*

La figure 21 nous indique que les praticiens répondants sont omnipraticiens à 91 %, dont 40 % sans spécialisation précise.

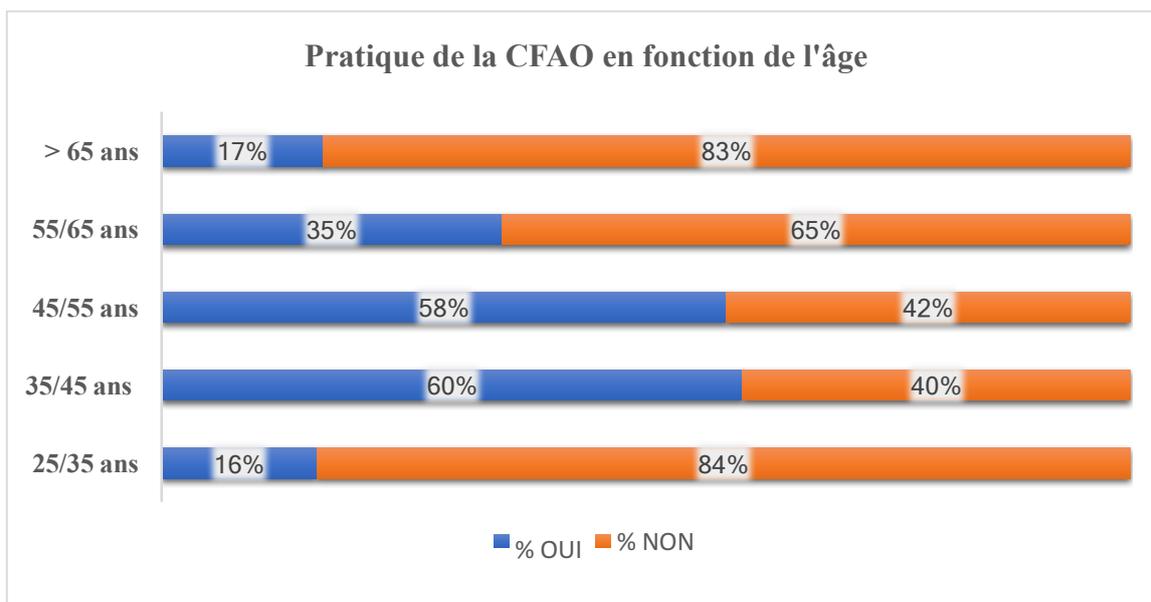
Parmi les spécialisations, l'implantologie est la plus pratiquée avec 47 % des praticiens.

### 3.3.7 Utilisation de la CFAO (directe, semi-directe ou indirecte)



*Figure 22 Utilisation de la CFAO*

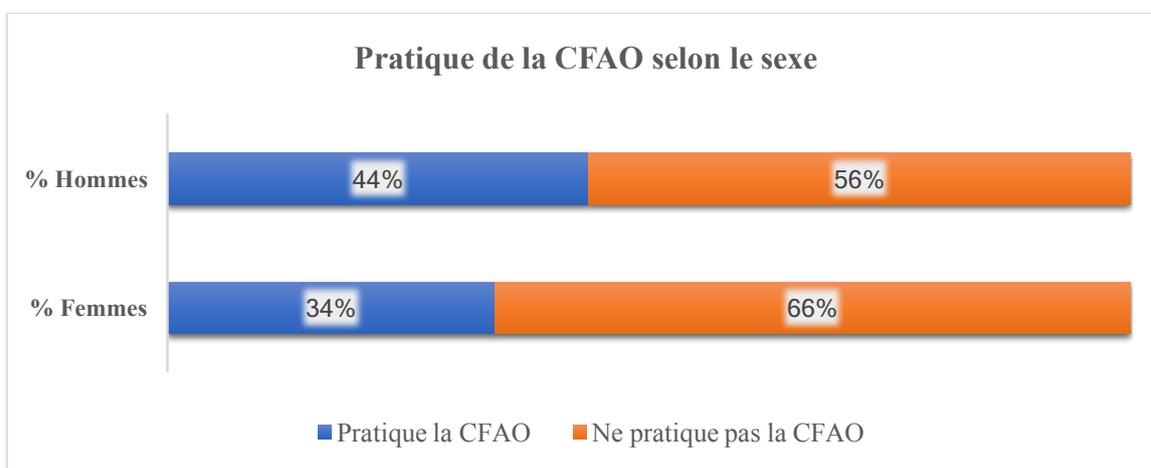
La figure 22 nous renseigne sur le pourcentage de praticiens qui utilisent la CFAO directe, semi-directe ou indirecte au cabinet. Ce taux s'élève à 40 %. Alors que 60 % n'utilisent pas la CFAO.



*Figure 23 Répartition de la pratique de la CFAO en fonction de l'âge*

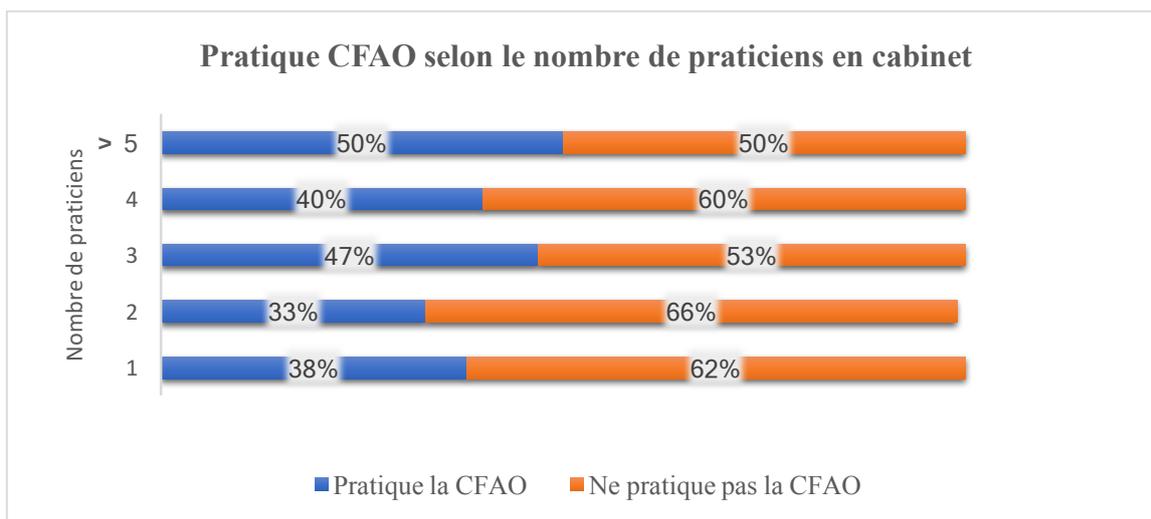
La figure 23 nous indique que les plus jeunes praticiens et les plus âgés sont ceux qui utilisent le moins la CFAO, avec 84 % de non pour les 25/35 ans et 83 % de non pour les plus de 65 ans. Pour les 35/45 ans la majorité utilisent la CFAO (60 %) comme pour les 45/55 ans (58 %).

Enfin pour les 55/65 ans, 35 % utilisent la CFAO.



*Figure 24 : répartition de la pratique de la CFAO selon le sexe*

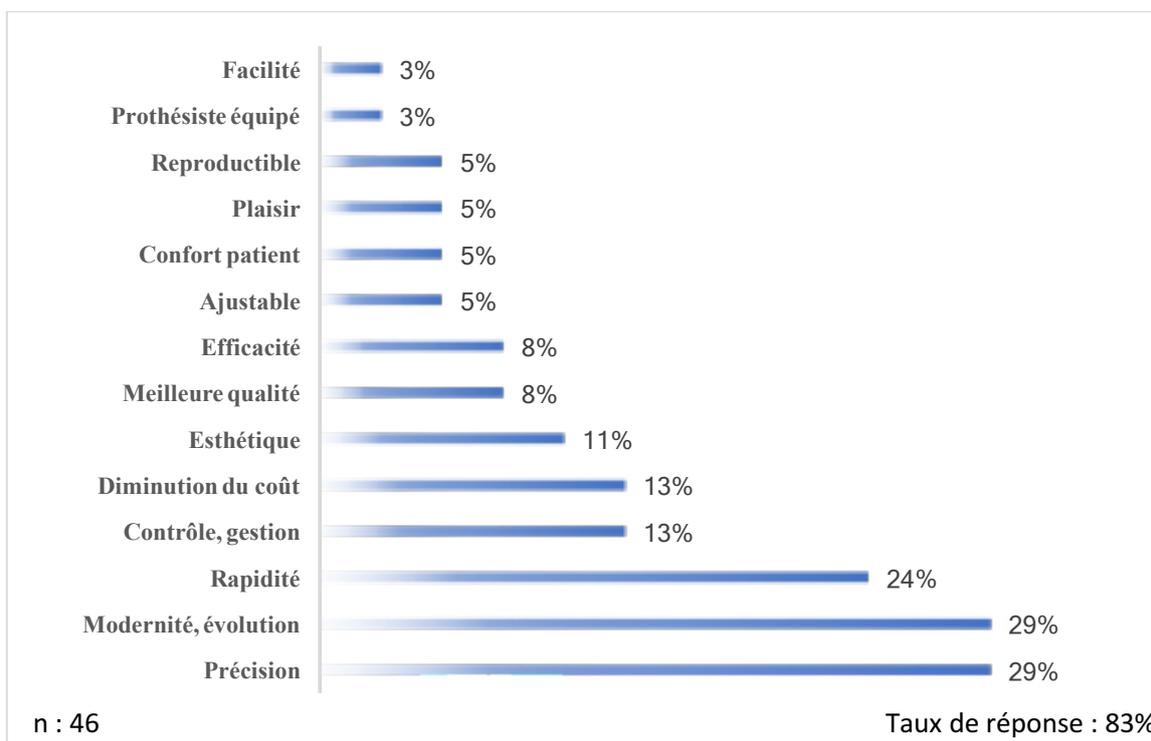
Delon la figure 24, nous voyons que la répartition de la pratique de la CFAO n'est pas la même en fonction du sexe. Concernant les hommes, une majorité utilisent la CFAO (64%). Alors que seulement 38% des femmes utilisent la CFAO.



*Figure 25 Pratique de la CFAO selon le nombre de praticien au cabinet*

La figure 25 nous montre que les cabinets comportant plus de 3 praticiens utilisent plus la CFAO que cabinets comportant 1 ou 2 praticiens.

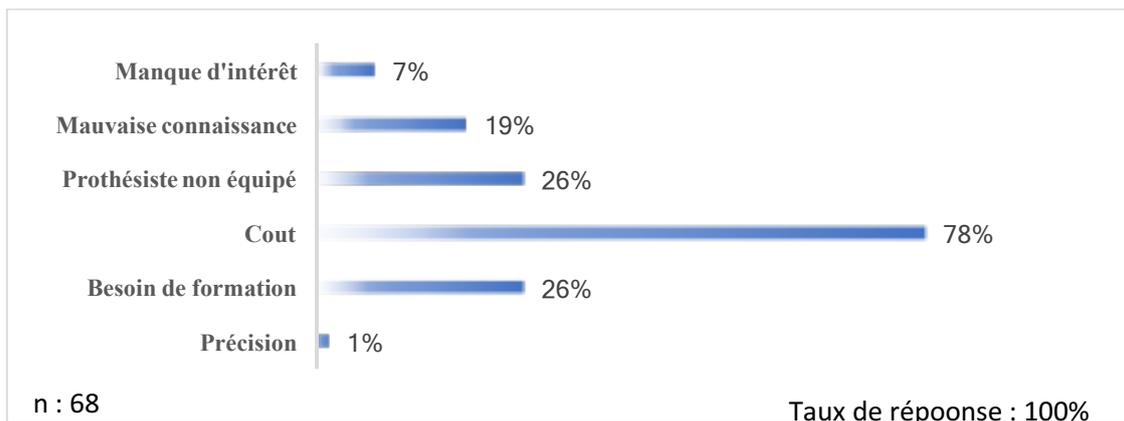
### 3.3.7.1 Motifs de l'utilisation de la CFAO



*Figure 26 Motifs d'utilisation de la CFAO*

Les praticiens utilisent la CFAO pour différentes raisons. Les principales sont la précision et la modernité de la technique mais aussi pour la rapidité et le gain de temps. La diminution du cout de fabrication et l'esthétique sont aussi d'autres raisons évoquées.

### 3.3.7.2 Motifs de non utilisation de la CFAO



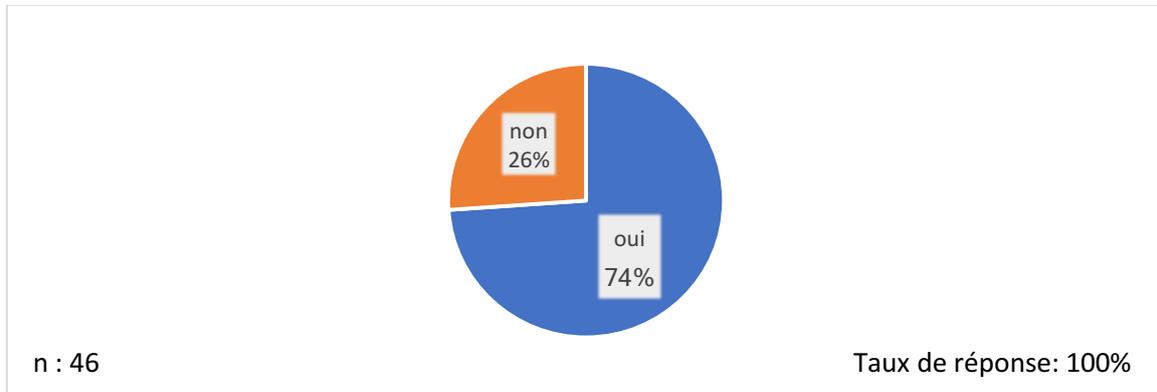
*Figure 27 Motifs de non utilisation de la CFAO par les praticiens*

Selon la figure 27, différents motifs expliquent le fait que certains praticiens n'utilisent pas la CFAO. La raison majoritaire est le cout des machines de la CFAO et le cout de la camera intra buccale (78 %).

On note également que 26 % des praticiens qui n'utilisent pas la CFAO l'explique par le fait qu'ils ne sont pas assez formés ou que leur prothésiste n'en est pas équipé. 7% des praticiens n'utilisent pas la CFAO par manque d'intérêt. Enfin uniquement 1% des praticiens sondés ne l'utilisent pas car ils trouvent que la technique manque de précision.

### 3.3.8 Les praticiens utilisant la CFAO

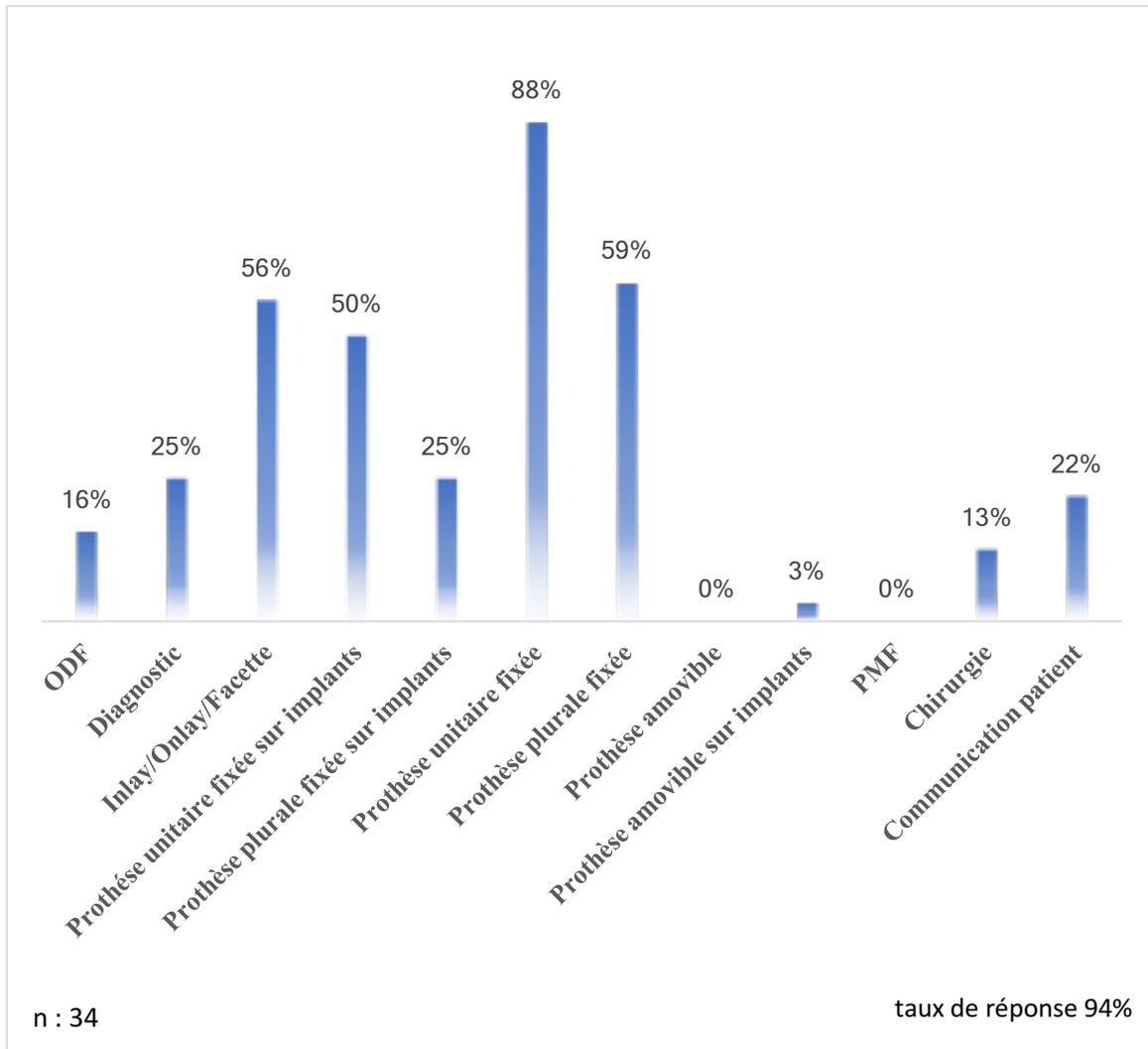
#### 3.3.8.1 *Possession d'une caméra intra buccale*



*Figure 28 Possession de camera intra buccale pour les praticiens utilisant la CFAO*

La figure 28 montre que 74 % des praticiens qui utilisent la CFAO ont une caméra intra buccale, 26 % n'en possèdent pas.

a. Domaines d'utilisation de l'empreinte numérique

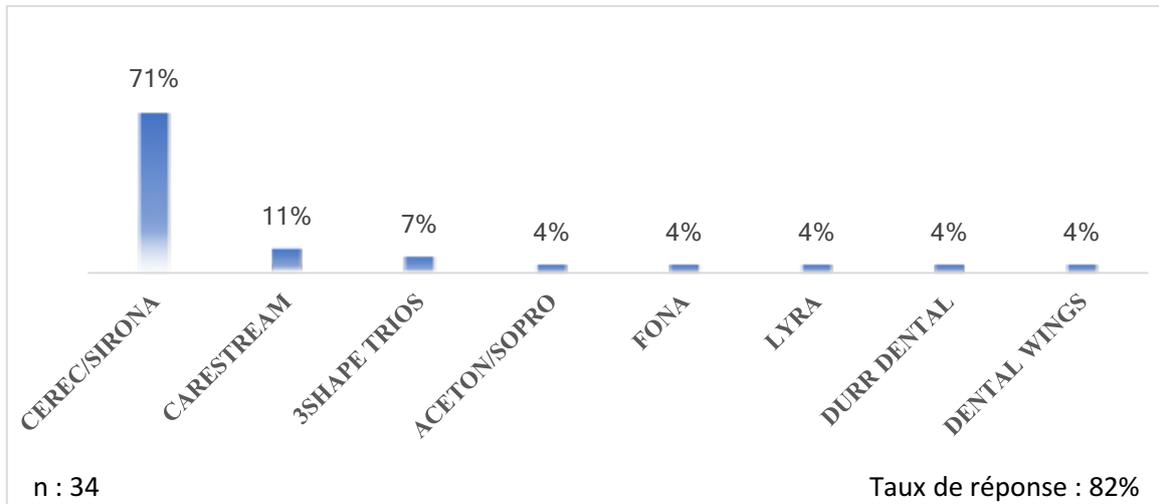


*Figure 29 Domaines d'utilisations de l'empreinte numérique*

D'après la figure 29, nous constatons que les praticiens utilisent l'empreinte numérique dans différents domaines :

- 88 % l'utilisent pour la prothèse unitaire fixée
- 59 % l'utilisent pour la prothèse plurale fixée
- 56 % l'utilisent pour l'odontologie restauratrice tel que les Inlay/Onlay/Facettes
- 50 % l'utilisent pour la prothèse unitaire fixée sur implant
- 25 % l'utilisent pour la prothèse plurale fixée sur implant
- 25 % l'utilisent pour le diagnostic
- 22 % l'utilisent pour la communication avec le patient
- 16 % l'utilisent pour l'ODF
- 13 % l'utilisent pour la chirurgie
- 3 % l'utilisent pour la prothèse amovible sur implants
- 0 % l'utilisent pour la prothèse amovible ainsi qu'en PMF

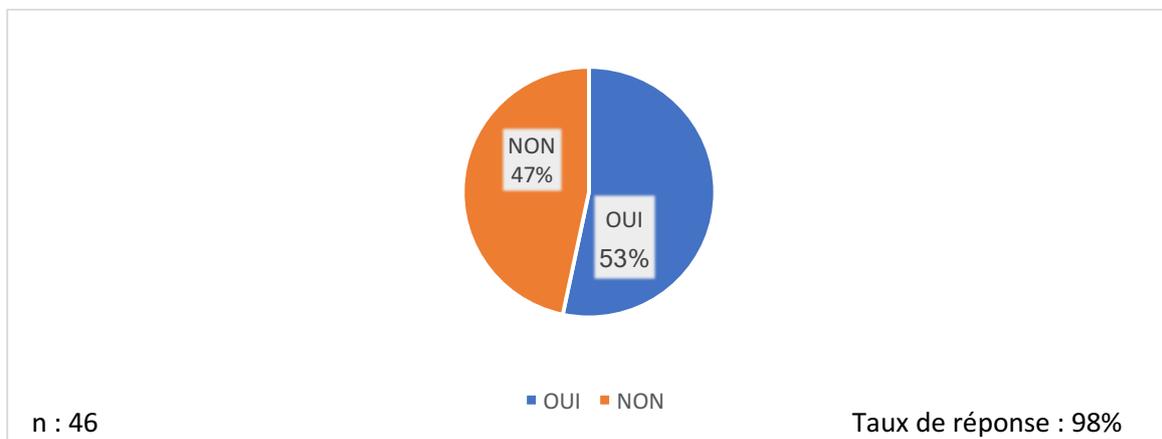
b. Modèle de la camera intra buccal utilisée



*Figure 30 Modèle de camera intra buccale utilisé*

La figure 30 nous montre que la grande majorité des praticiens possédant une caméra intra buccale utilisent la marque Cerec<sup>®</sup>/Sirona<sup>®</sup>.

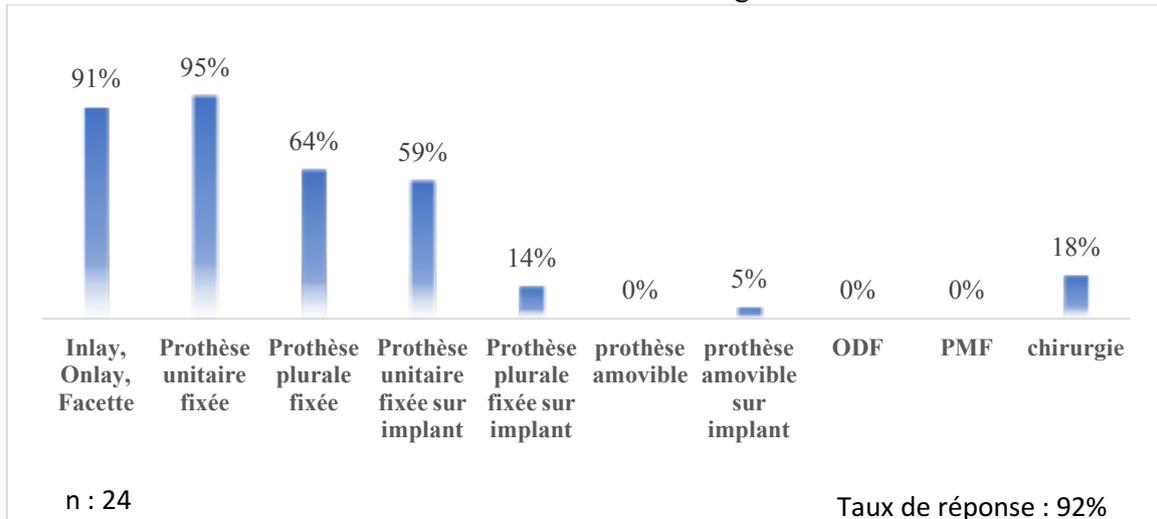
3.3.8.2 Possession d'une machine d'usinage



*Figure 31 Possession d'une machine d'usinage pour les praticiens utilisant la CFAO*

La figure 31 nous renseigne sur les praticiens qui ont une machine d'usinage. Un peu plus de la moitié des praticiens utilisant la CFAO possèdent une machine d'usinage, 47 % n'en possèdent pas.

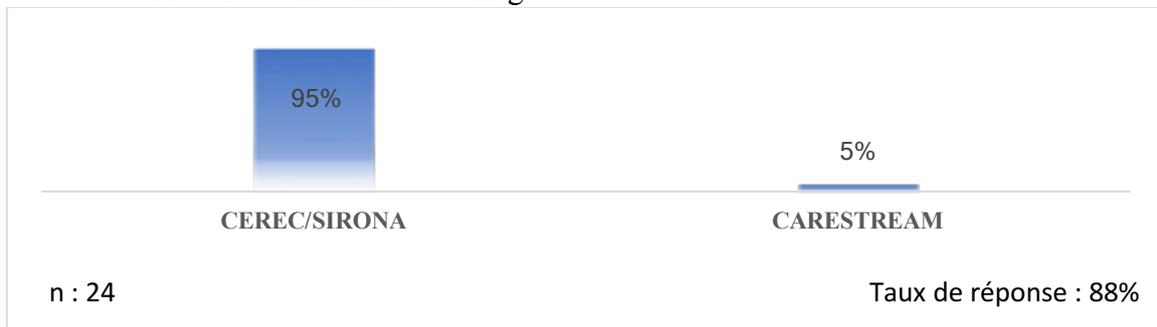
a. Domaines d'utilisation de la machine d'usinage



*Figure 32 Domaines d'utilisation de la machine d'usinage pour les praticiens utilisant la CFAO*

Selon la figure 32, 95 % des praticiens sondés qui ont une machine d'usinage l'utilisent pour les prothèses unitaires fixées, 91 % l'utilisent pour l'odontologie restauratrice (inlay, onlay, facettes). La machine d'usinage est utilisée pour les prothèses plurales fixées pour 64 % praticiens qui ont la machine d'usinage. 59 % de ces mêmes praticiens l'utilisent pour la prothèse unitaire fixée sur implant. Enfin une petite minorité l'utilisent pour les prothèses plurale fixée sur implant, pour les prothèses amovibles sur implant et pour la chirurgie. En revanche aucun l'utilise dans les domaines de l'ODF, la PMF ainsi que pour la prothèse amovible.

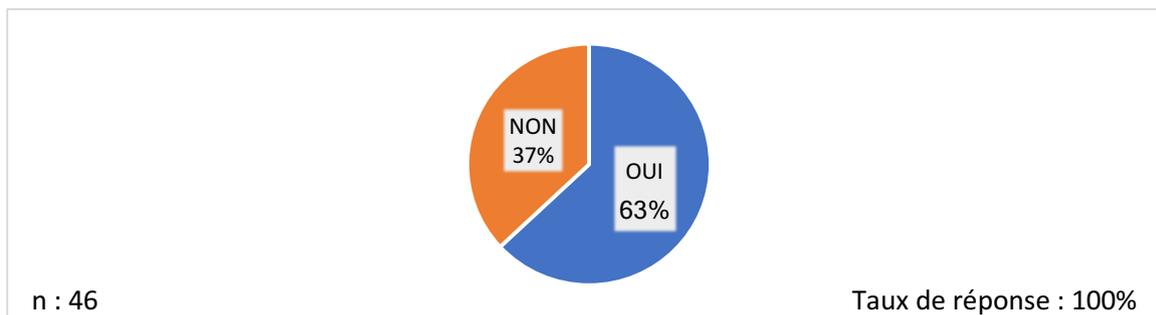
b. Modèle de machine d'usinage



*Figure 33 Modèle de machine d'usinage utilisée*

La figure 33 nous montre que la quasi-totalité des praticiens possédant une machine d'usinage, utilisent la marque Cerec<sup>®</sup>/Sirona<sup>®</sup>.

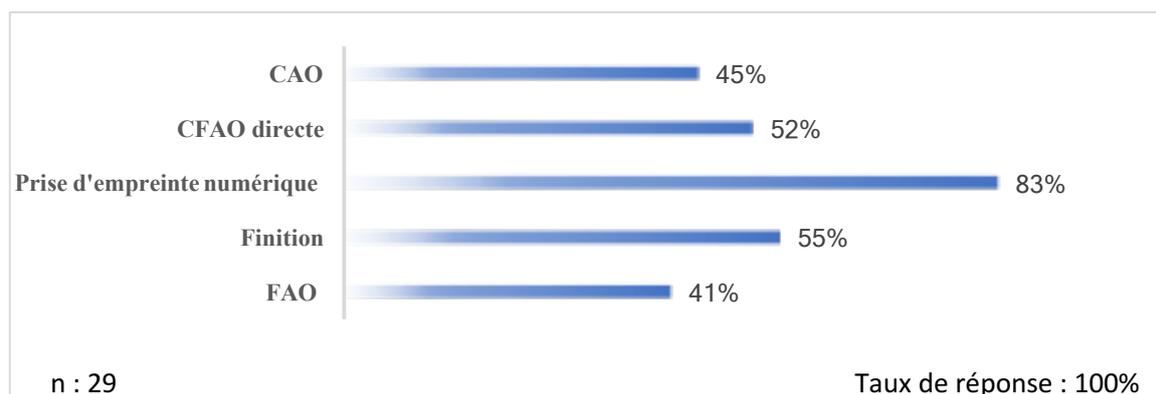
### 3.3.9 Formation CFAO



*Figure 34 Suivi d'une formation spécifique en CFAO*

Dans la figure 34, nous constatons que sur la totalité des praticiens utilisant la CFAO, 59 % ont suivi une formation spécifique.

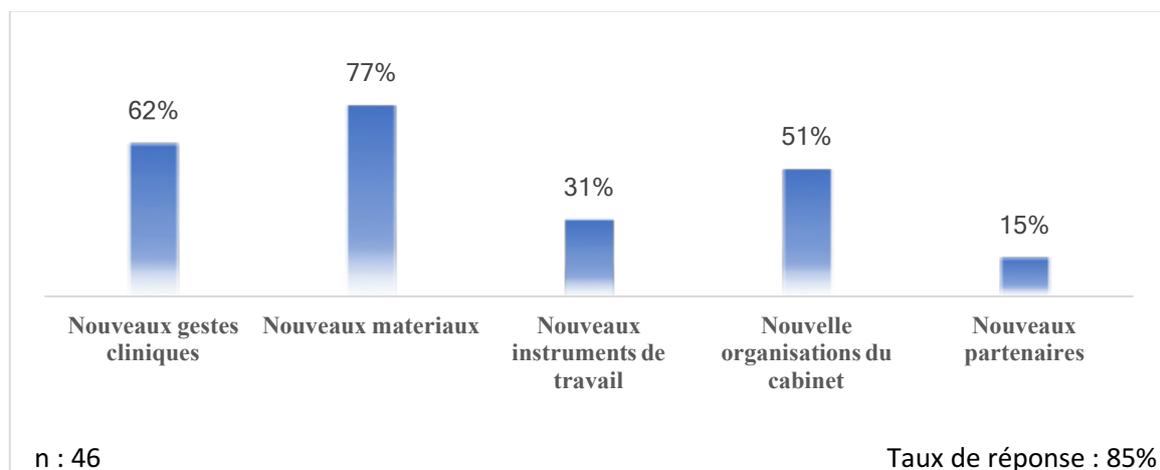
#### 3.3.9.1 Domaines de formation CFAO



*Figure 35 Techniques de formation CFAO*

La figure 35 nous renseigne que la grande majorité des praticiens ayant suivi une formation CFAO, se sont formés à la prise de l'empreinte numérique.

### 3.3.10 Domaines de modifications des habitudes de travail

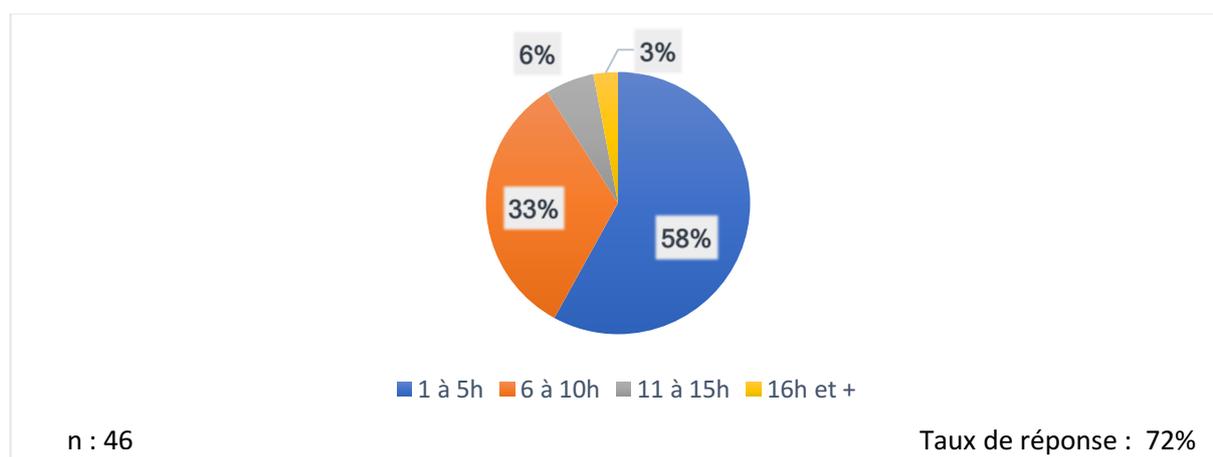


*Figure 36 Domaines modifiées des par l'utilisation de la CFAO*

La figure 36 nous indique les différents domaines dans lesquels la CFAO a modifié les habitudes de travail des praticiens qui l'utilisent.

Les principaux domaines de modifications sont l'utilisation de nouveaux matériaux, l'adoption de nouveaux gestes cliniques et une organisation nouvelle du cabinet.

### 3.3.11 Temps d'utilisation de la CFAO par semaine



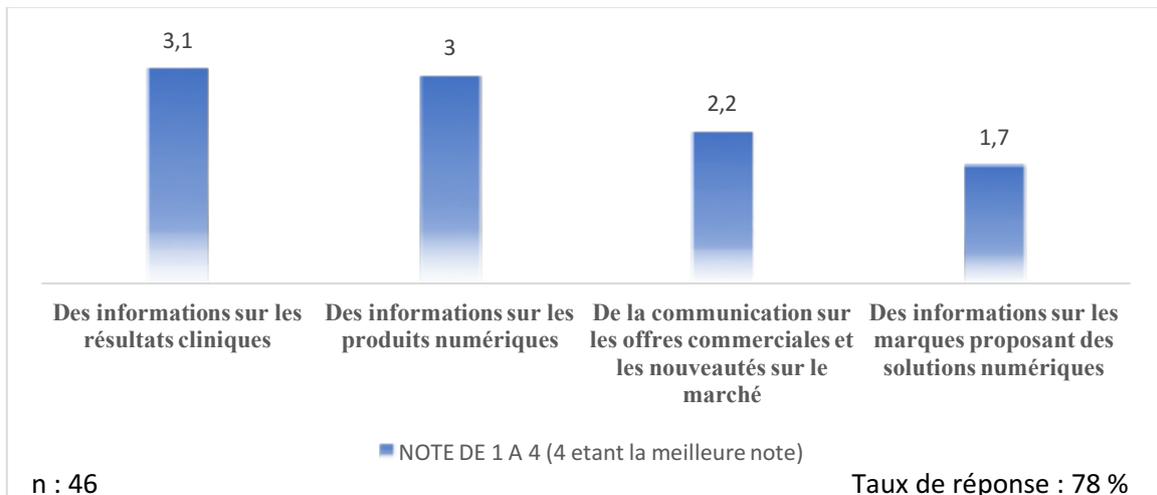
*Figure 37 Temps passé par semaine sur les outils de CFAO*

La figure 37 nous montre que 58 % des sondés utilisant la CFAO passent entre 1 et 5 heures sur leurs outils CFAO. On note également que 33% passent entre 6 et 10 heures et seulement 9% au-delà.

On note également que 58 % des praticiens disent consacrer à la CFAO moins de 5 heures par semaine, dont 74 % d'omnipraticiens et 37 % d'implantologues (exclusif à 16 %).

Alors que 42 % de praticiens y consacrent plus de 6 heures, dont 100 % d'omnipraticiens ayant à 80 % l'implantologie comme spécialité.

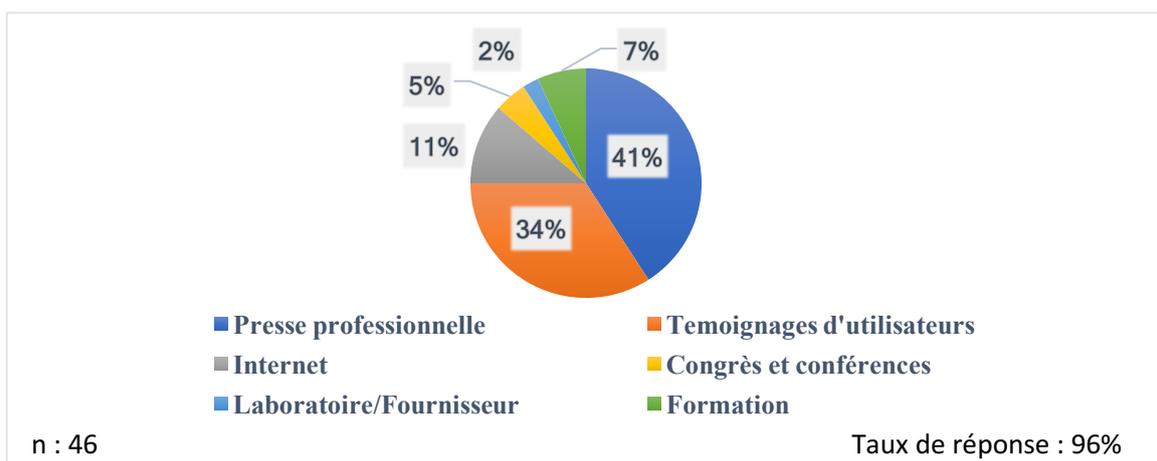
### 3.3.12 Critères de choix du matériel



*Figure 38 Critère de choix du matériel noté de 1 à 4*

Selon la figure 38 pour les praticiens qui utilisent la CFAO, les critères de choix principaux du matériel sont l'information sur les résultats cliniques et l'information sur les produits numériques.

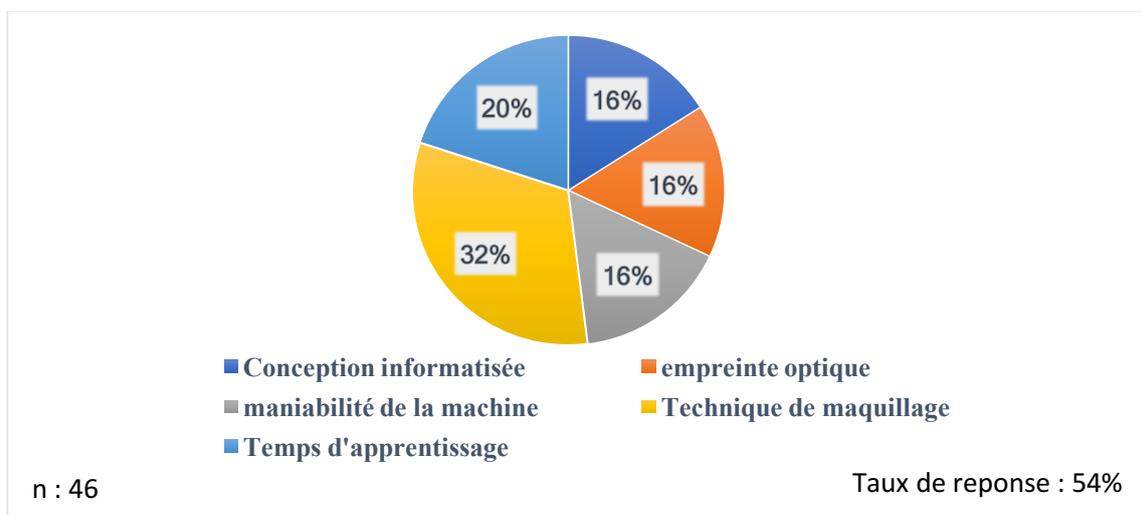
### 3.3.13 Sources d'informations sur la CFAO



*Figure 39 Sources d'informations sur la CFAO*

D'après la figure 39, les principales sources d'informations sur la CFAO sont, la presse professionnelle et les témoignages d'autres utilisateurs.

### 3.3.14 Difficultés d'apprentissage de la CFAO directe

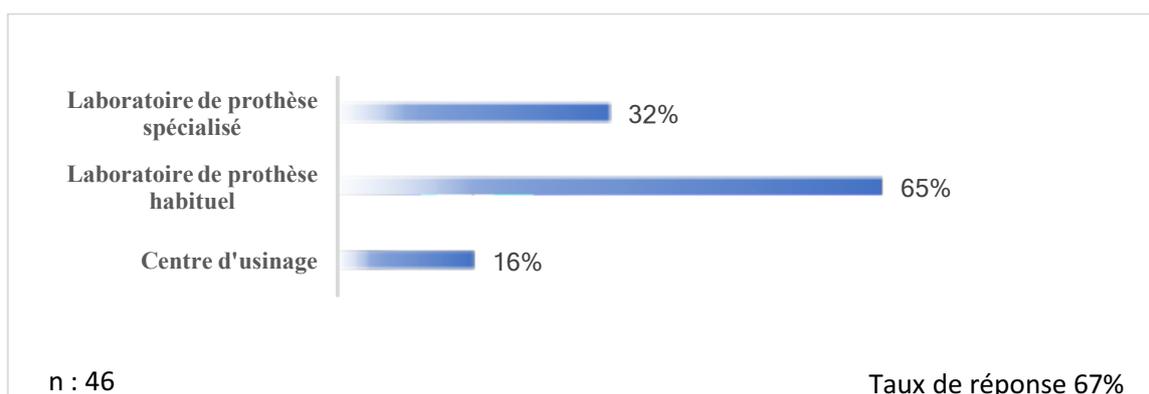


*Figure 40 Difficultés rencontrées lors de l'apprentissage de la CFAO directe*

D'après la figure 40, les difficultés rencontrées pour l'apprentissage de la CFAO directe ont été principalement sur le temps d'apprentissage et la technique de maquillage.

### 3.3.15 CFAO Semi-directe ou Indirecte

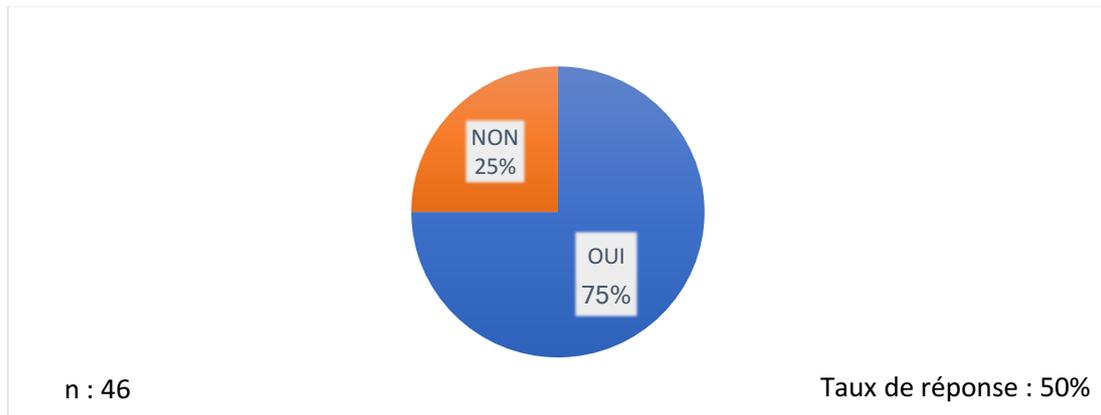
#### 3.3.15.1 Lieu de fabrication de prothèse



*Figure 41 Fabrication de prothèse*

La figure 41 nous indique que plus de la moitié des praticiens utilisant la CFAO semi-directe ou indirecte, font fabriquer leur prothèse par leur laboratoire de prothèse habituel. 32 % les font fabriquer par un laboratoire de prothèse spécialisé. Enfin 16 % les font fabriquer dans un centre d'usinage.

### 3.3.15.2 Echange avec un seul interlocuteur ou fournisseur

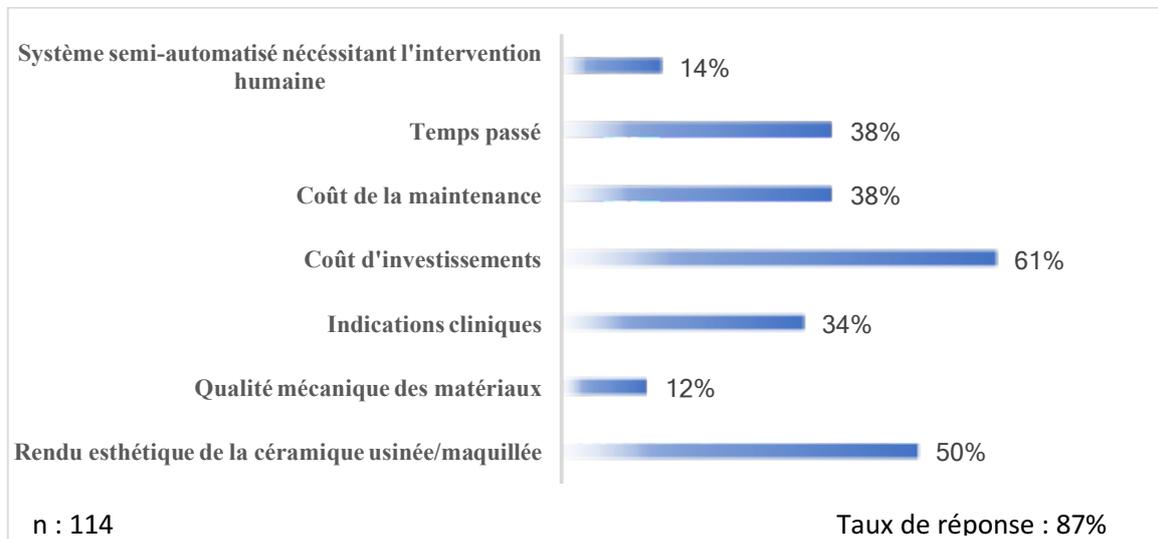


*Figure 42 Pourcentage de praticiens ayant un seul interlocuteur ou fournisseur*

Selon la figure 42 les trois quarts des praticiens qui travaillent en technique Semi-directe ont un seul fournisseur ou interlocuteur.

### 3.3.16 La CFAO selon les praticiens

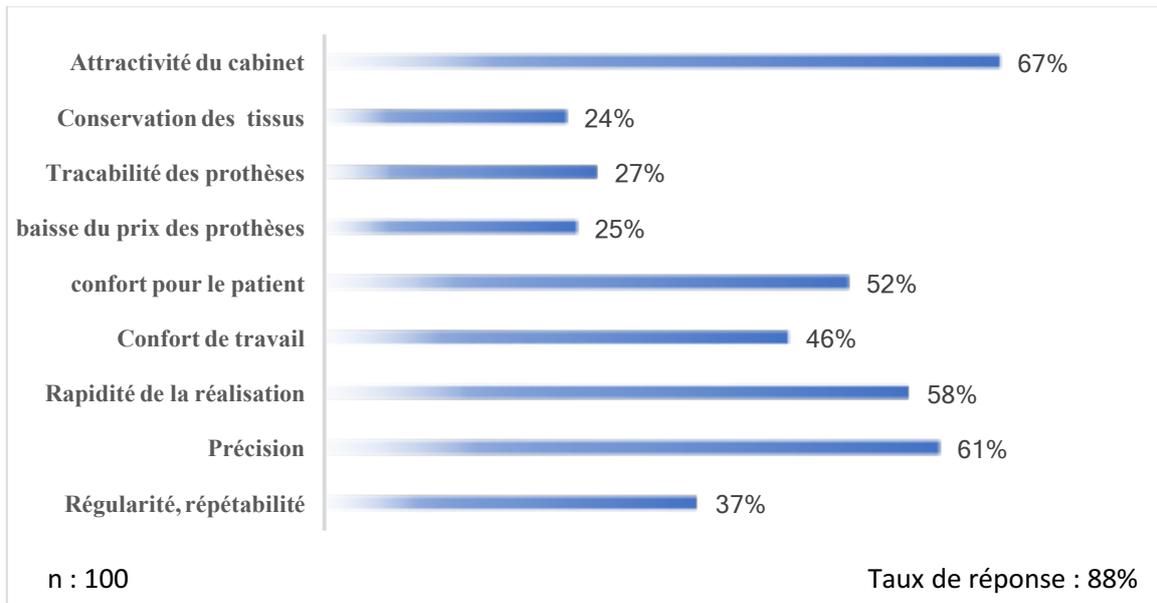
#### 3.3.16.1 Limites de la CFAO



*Figure 43 Limites de la CFAO*

La figure 43 nous renseigne sur les limites de la CFAO selon la totalité des praticiens sondés. Le coût d'investissement est une des principales limites de la CFAO. Le rendu esthétique est selon eux aussi un frein. Un peu moins de 40 % des sondés pensent que le temps passé et le cout de la maintenance sont aussi des limites.

### 3.3.16.2 Avantages de la CFAO



*Figure 44 Avantages de la CFAO*

Selon la figure 44, les principaux avantages de la CFAO sont l'attractivité du cabinet, la précision, la rapidité de la réalisation et le confort pour le patient. Environ un quart des praticiens trouvent que la conservation des tissus, la traçabilité des prothèses et la baisse du prix des prothèses sont aussi des avantages de la CFAO.

### 3.3.17 Les indications de la CFAO

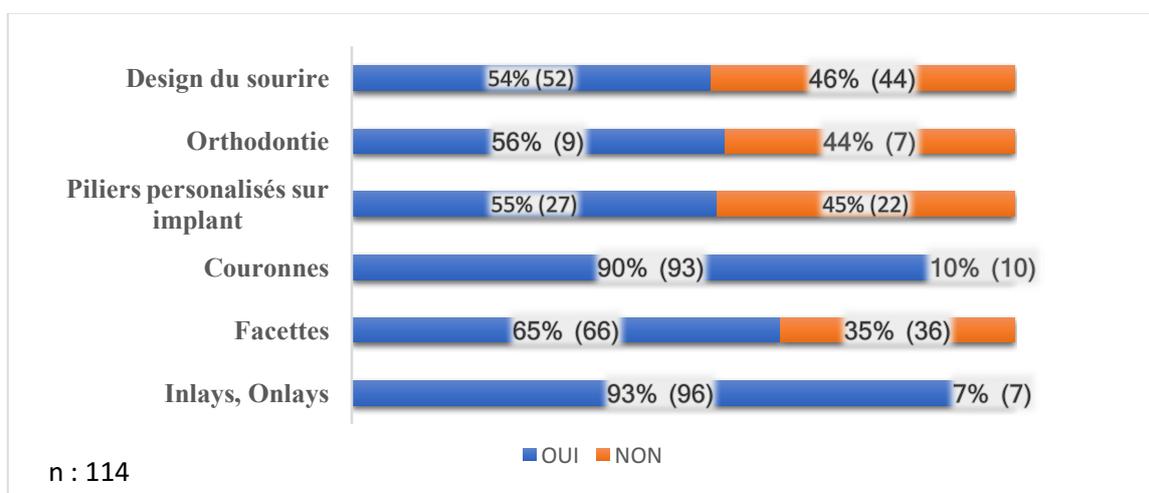


Figure 45 Les indications de la CFAO

D'après la figure 45, la grande majorité des praticiens trouve que la CFAO trouve sa place pour le Inlays/Onlays et couronnes, avec respectivement 93 % et 90 % d'avis favorables. Celle-ci est moins évidente pour les autres indications, surtout pour l'orthodontie.

#### 3.3.17.1 Inlays/Onlays

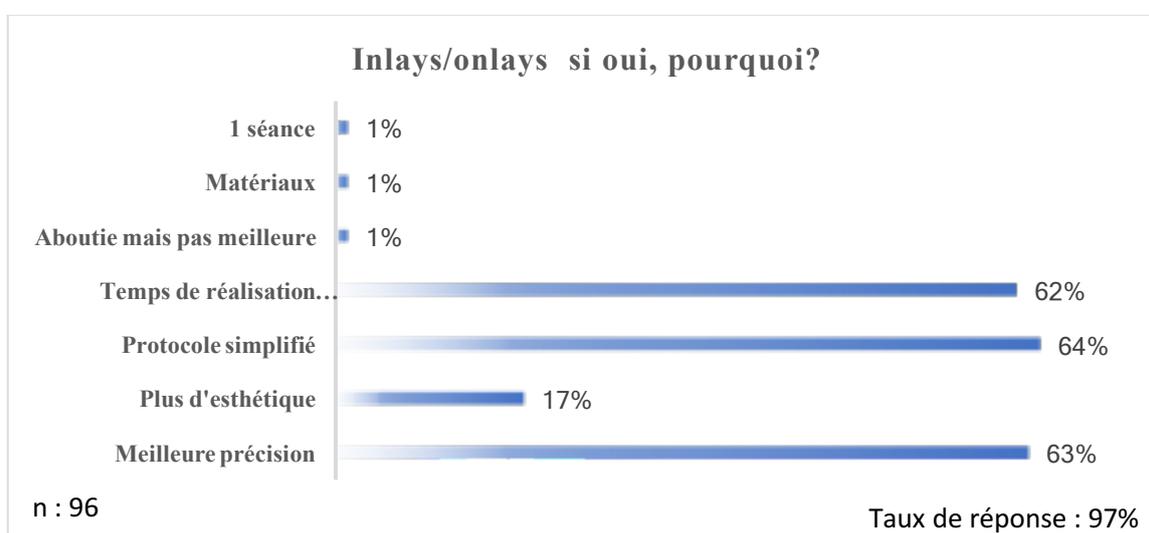
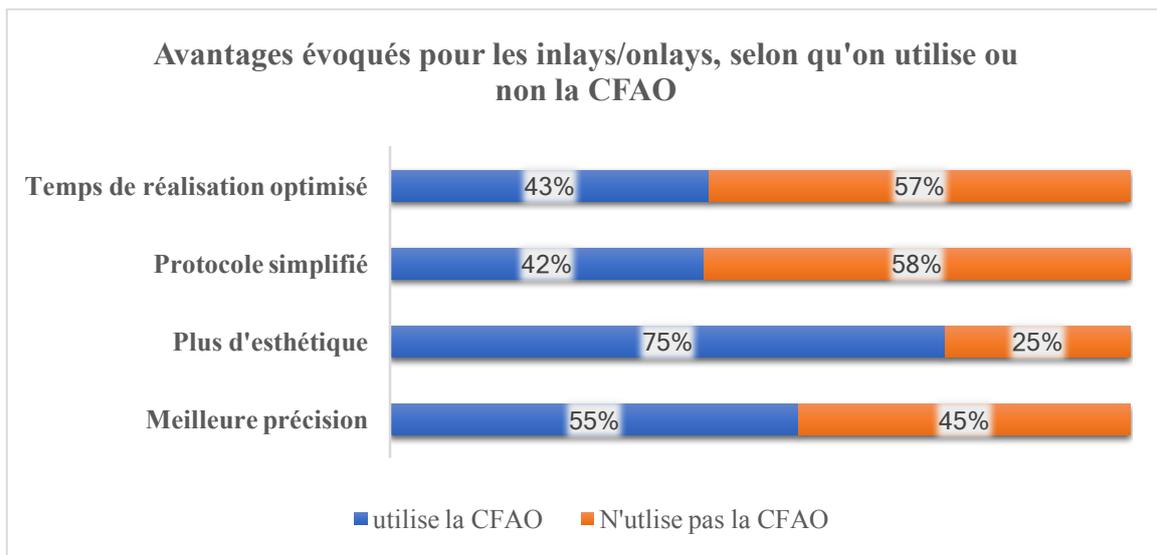


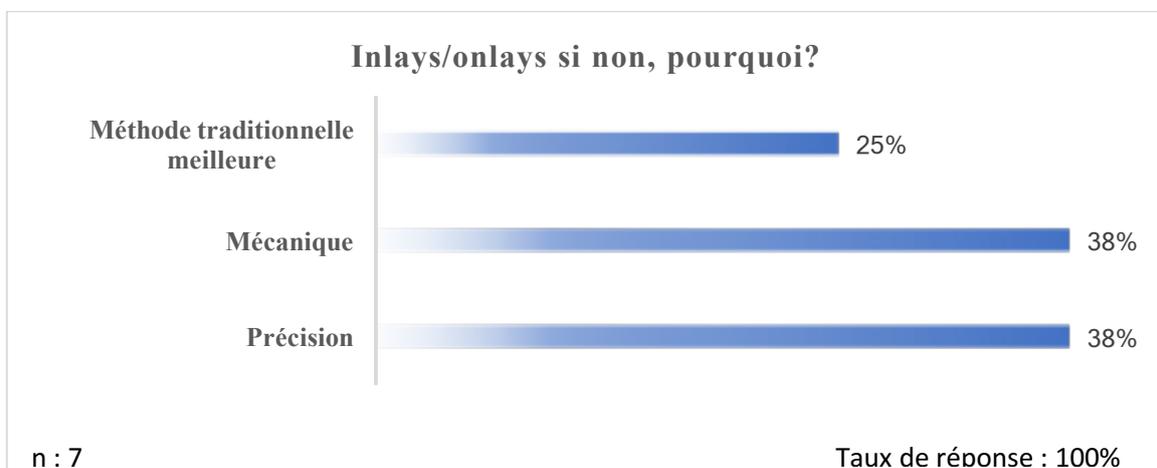
Figure 46 Motifs d'indication de la CFAO pour les Inlays/Onlays

La figure 46 nous indique que selon les praticiens, les avantages de l'utilisation de la CFAO pour les Inlays/Onlays, sont nombreux. Notamment l'optimisation du temps de réalisation, une meilleure précision et une simplification du protocole.



*Figure 47 Avantage de la CFAO pour les inlays/onlays selon qu'on utilise ou non la CFAO*

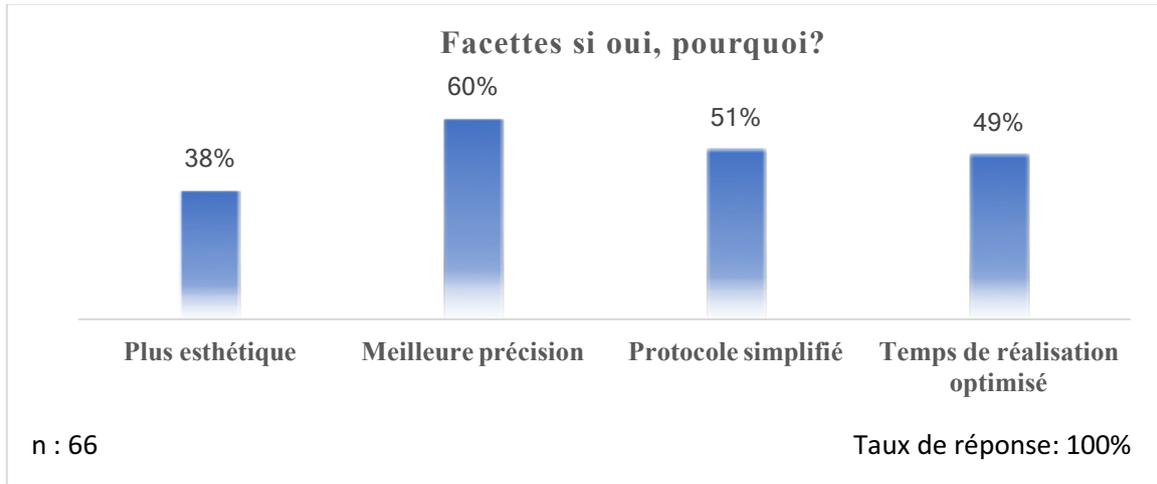
La figure 47 nous indique que sur les avantages de l'utilisation de la CFAO pour les inlays/onlays, concernant l'esthétique, 75 % des répondants sont des praticiens CFAO contre 25 % pour les praticiens non CFAO. Sur le reste on note une bonne répartition des réponses entre les praticiens utilisant CFAO ou non.



*Figure 48 Motifs de la non utilisation de la CFAO pour les Inlays/Onlays*

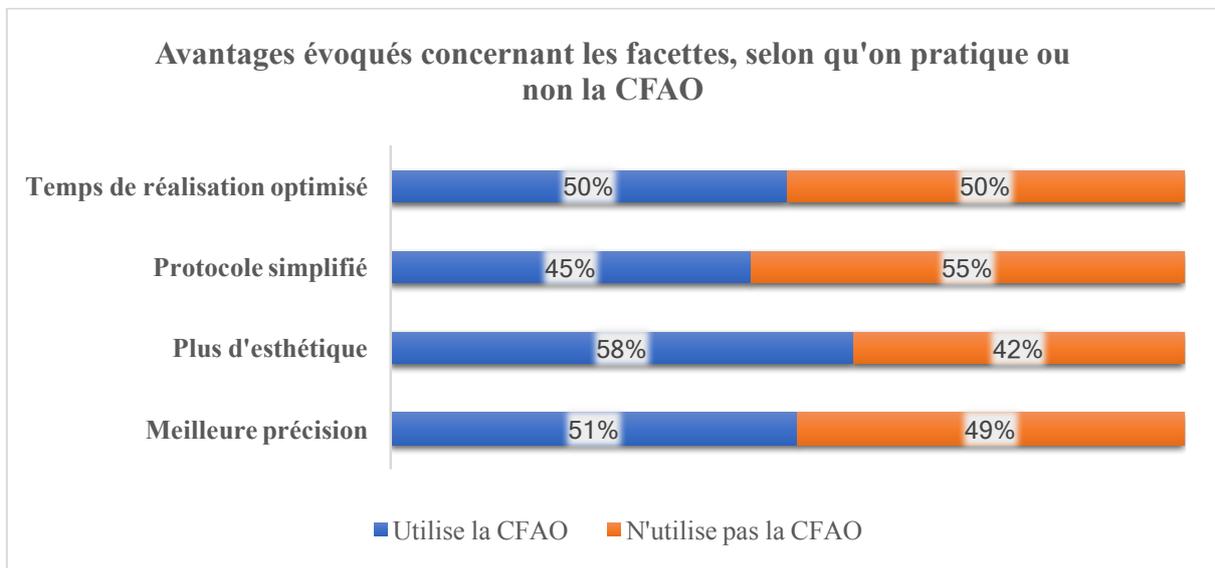
D'après la figure 48, les praticiens qui trouvent que la CFAO n'est pas assez pertinente pour les Inlays/Onlays pensent que la méthode traditionnelle est meilleure mais que surtout, les propriétés mécaniques ainsi que la précision n'est pas au rendez-vous.

### 3.3.17.2 Facettes



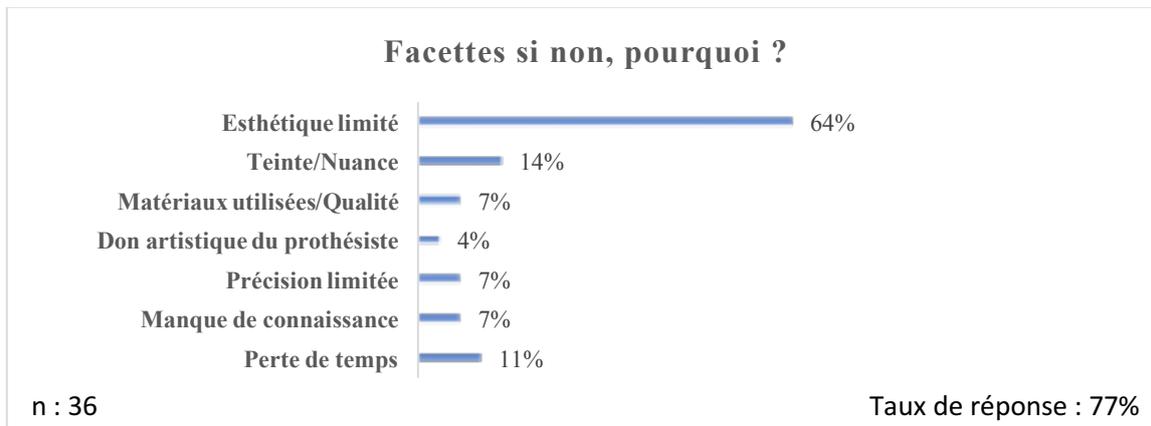
*Figure 49 Motifs de l'utilisation de la CFAO pour les facettes*

Dans la figure 49 nous constatons que les praticiens trouvent que la raison principale de l'utilisation de la CFAO pour les facettes est la meilleure précision. 51 % trouvent que le protocole simplifié est un avantage de la CFAO pour les facettes. Seulement 38 % d'entre eux s'accorde sur une meilleure esthétique.



*Figure 50 Avantages de la CFAO concernant les facettes selon qu'on utilise ou non la CFAO*

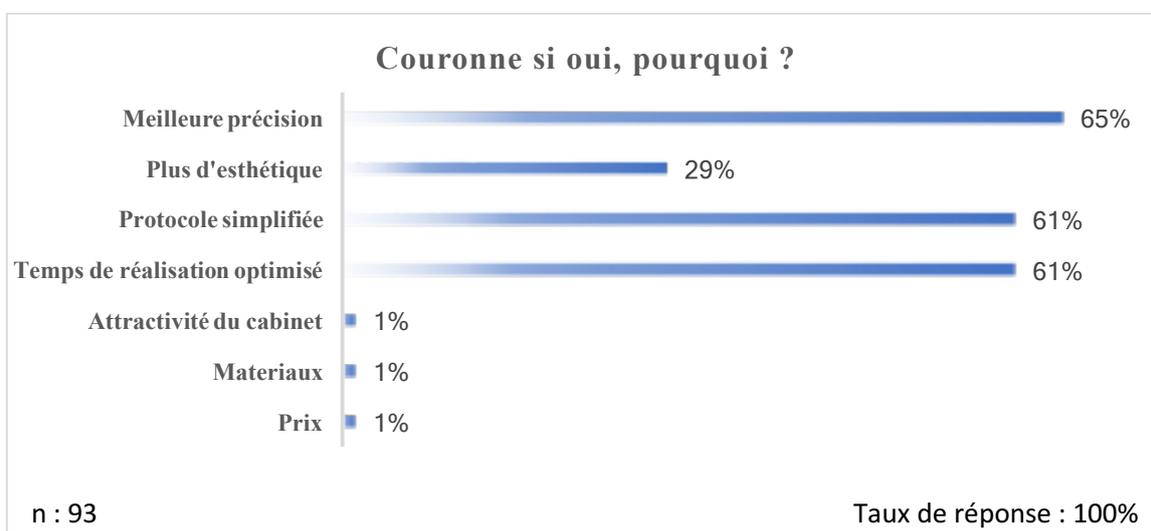
La figure 50 nous montre que sur les avantages de l'utilisation de la CFAO pour les couronnes, concernant l'esthétique, on a une bonne répartition des réponses entre les praticiens utilisant la CFAO ou non, avec malgré tout, un petit écart concernant l'esthétique avec 58 % des répondants utilisant la CFAO .



*Figure 51 Motifs de la non utilisation de la CFAO pour les facettes*

Selon la figure 51 l'esthétique est le facteur défavorable principal. D'autres raisons sont évoquées par les praticiens tels que la perte de temps et le manque de connaissance sur le sujet.

### 3.3.17.3 Couronnes

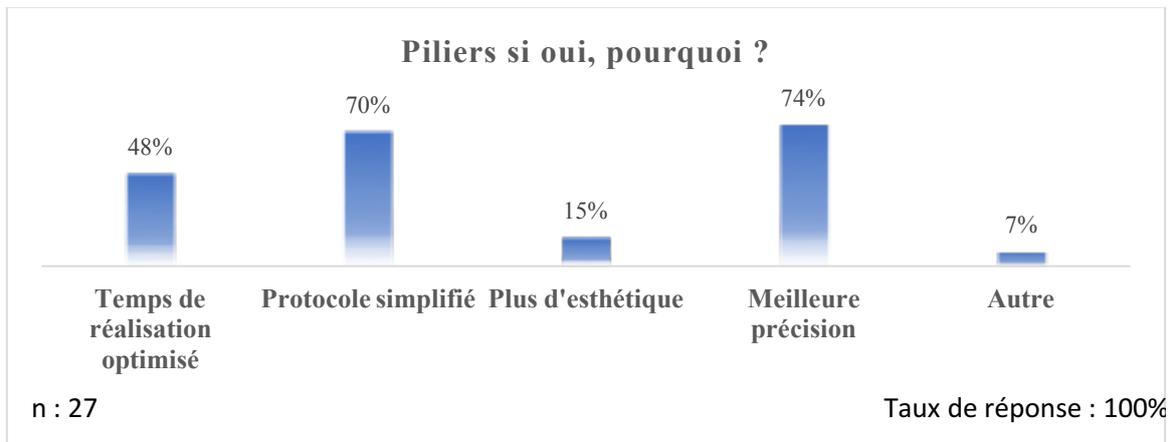


*Figure 52 Motifs de l'indication de la CFAO pour les couronnes*

La figure 52 montre que les praticiens qui sont pour l'utilisation de la CFAO pour les couronnes avancent les mêmes motifs que les praticiens qui sont pour la pratique de la CFAO pour les facettes. Ainsi la meilleure précision, le protocole simplifié et le temps de réalisation optimisé sont les principaux avantages de l'utilisation de la CFAO pour les couronnes. Aussi on peut voir que l'esthétique n'est pas très mis en avant par les praticiens (21 %).

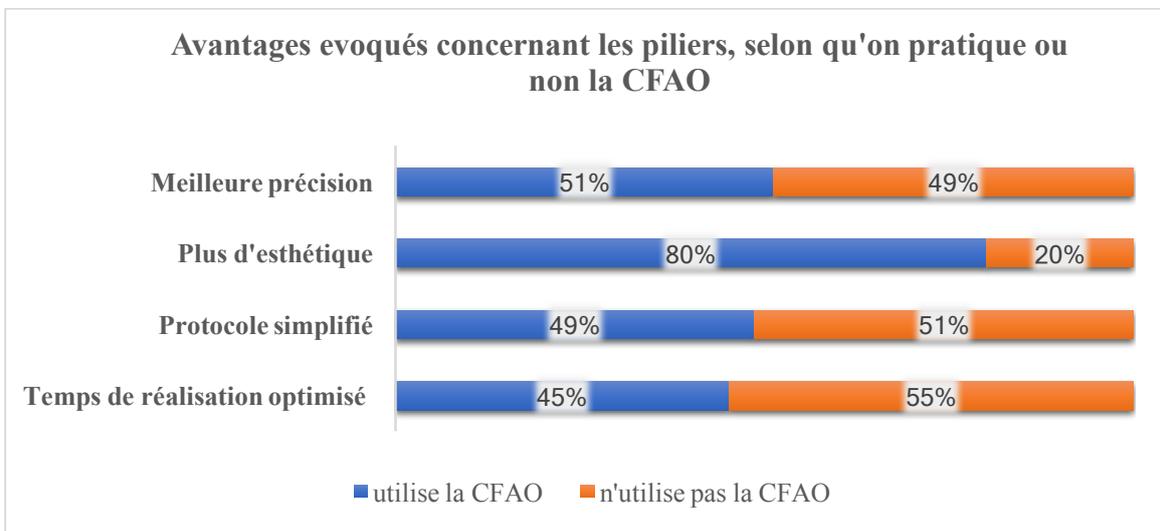


### 3.3.17.4 Piliers



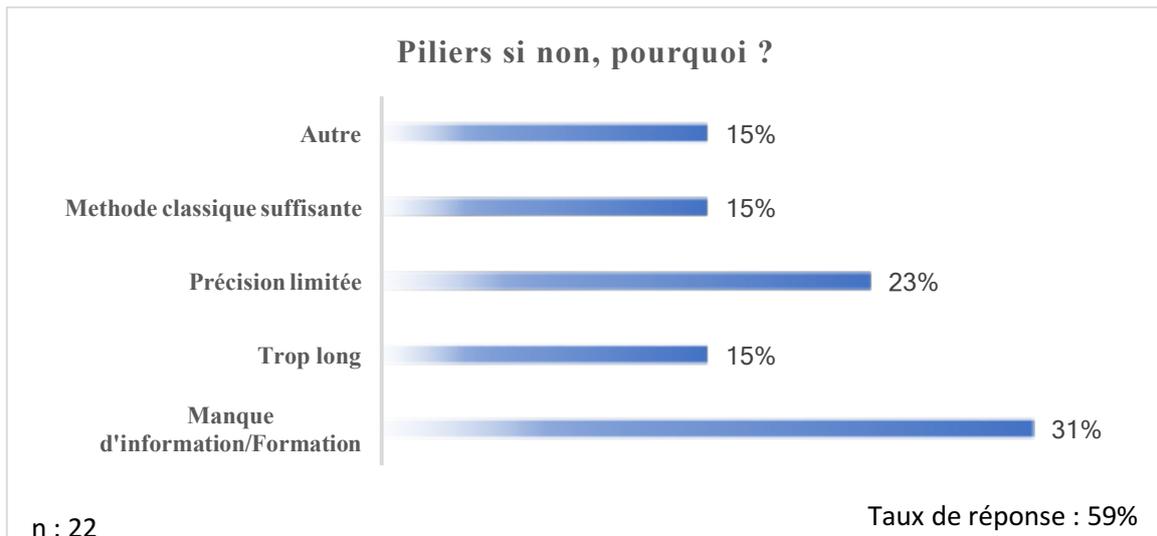
*Figure 55 Motifs de l'indication de la CFAO pour les piliers*

Dans la figure 55, nous avons ciblé les réponses des praticiens disant exercer dans le domaine de l'implantologie et on note que les praticiens qui sont pour une utilisation de la CFAO pour les piliers, le justifient surtout par une meilleure précision, un protocole simplifié et un temps de réalisation optimisé. L'esthétique des piliers n'a été relevée uniquement par 15 % des praticiens.



*Figure 56 Avantages de la CFAO pour les piliers selon qu'on utilise ou non la CFAO*

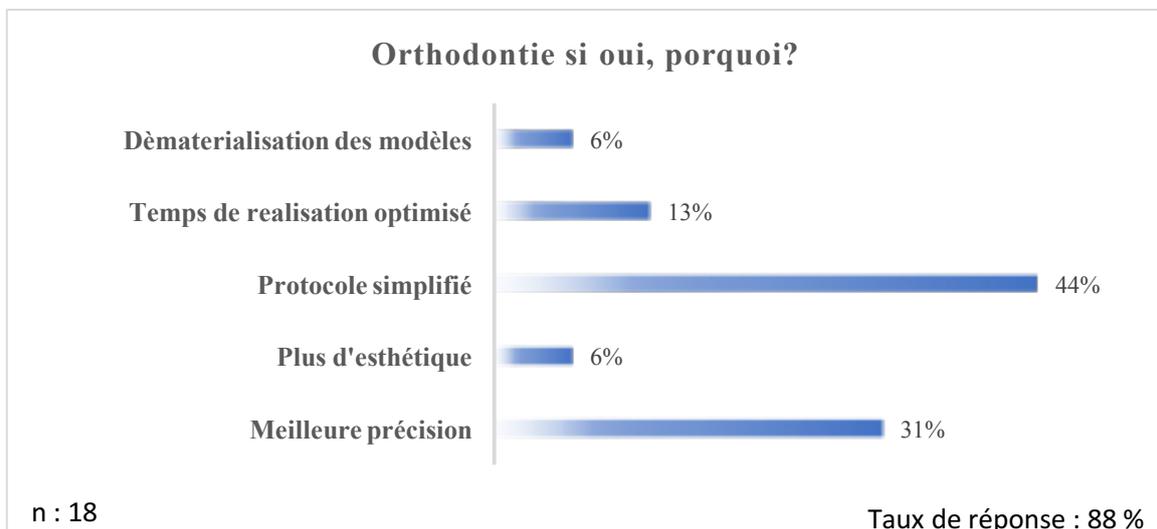
La figure 56 nous indique, comme pour les inlays/onlays et couronnes, que sur les avantages de l'utilisation de la CFAO pour les piliers, concernant l'esthétique, 80 % des répondants sont des praticiens CFAO contre 27 % pour les praticiens non CFAO. Sur le reste on a une bonne répartition des réponses entre les praticiens utilisant la CFAO ou non



*Figure 57 Motifs de la non indication de la CFAO pour les piliers*

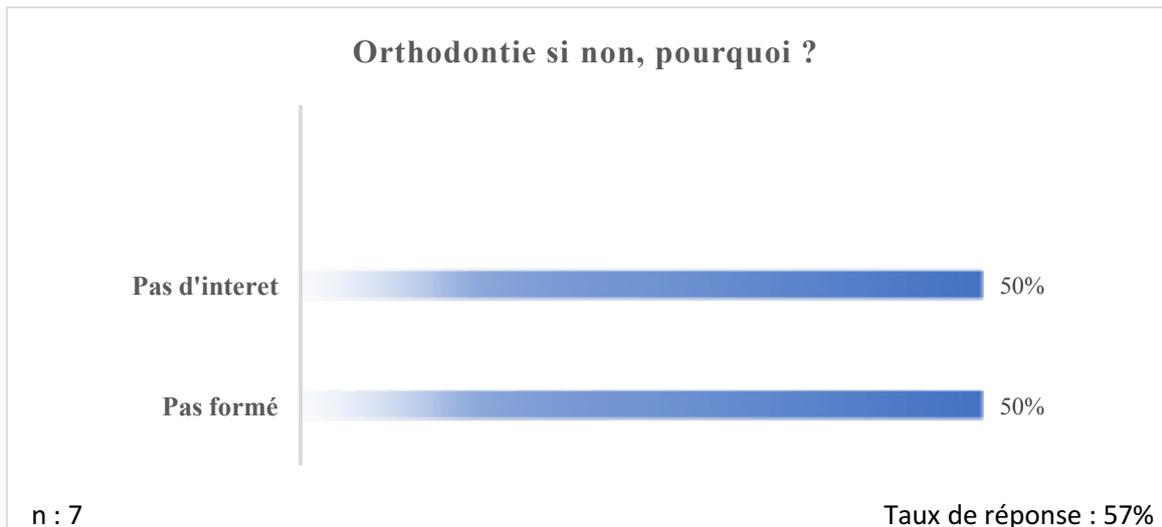
Dans la figure 57, nous avons ciblé les praticiens disant exercer dans le domaine de l'implantologie. On peut observer dans cette figure, les différentes raisons pour lesquels les praticiens pensent que l'utilisation de la CFAO n'est pas pertinente pour les piliers. Les raisons principales sont le manque d'information et de formation ainsi qu'une précision limitée.

### 3.3.17.5 Orthodontie



*Figure 58 Motifs de l'indication de la CFAO pour l'orthodontie*

Dans la figure 58, nous avons ciblé les praticiens disant exercer dans le domaine de l'orthodontie. Les deux raisons principales évoquées pour une l'utilisation de LA CFAO dans l'orthodontie sont le protocole simplifié ainsi qu'une meilleure précision.

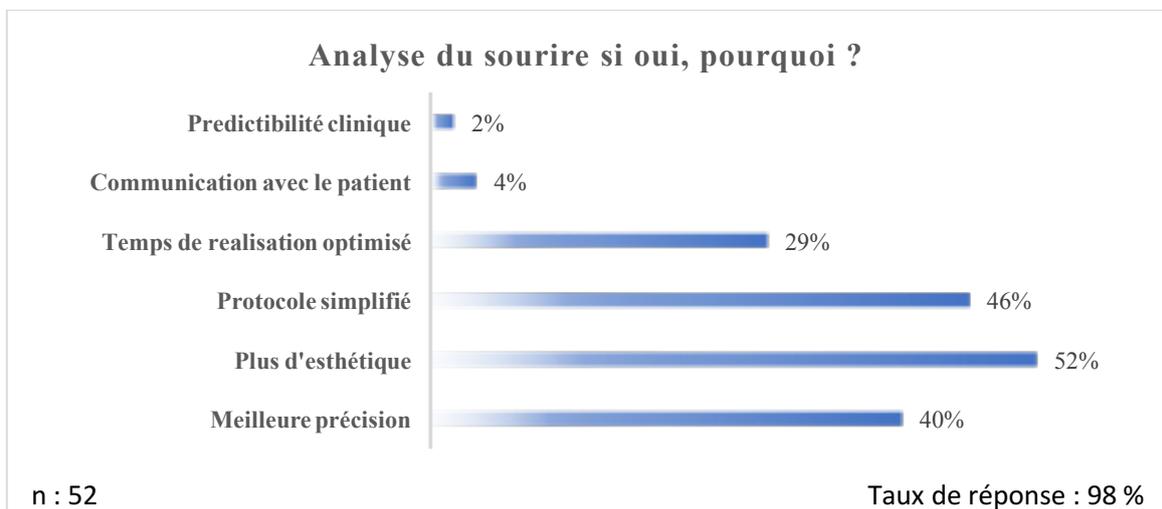


*Figure 59 Motifs de la non utilisation de la CFAO pour l'orthodontie*

Dans la figure 59, nous avons ciblé les praticiens disant exercer dans le domaine de l'orthodontie.

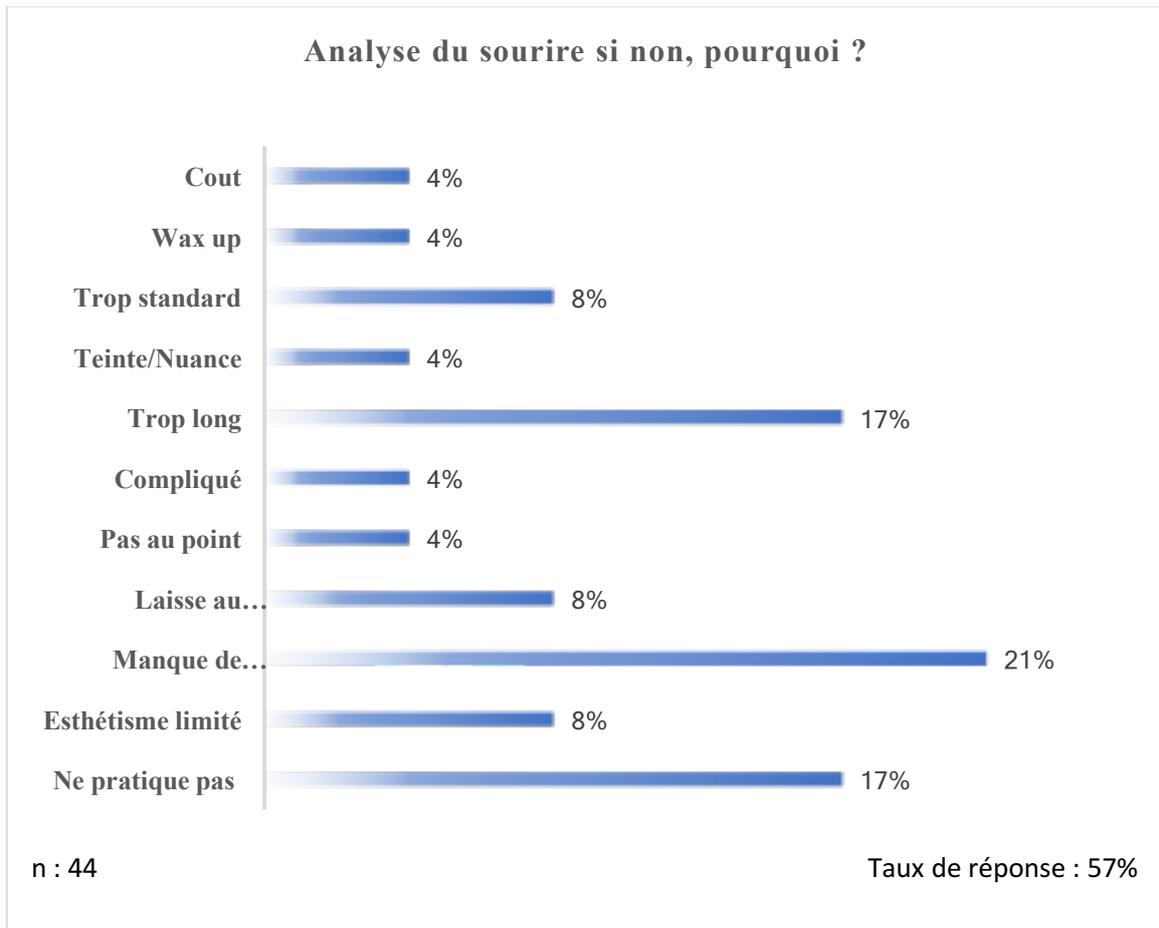
On note que les deux raisons principales pour la non utilisation de la CFAO dans l'orthodontie sont, le manque de formation ainsi que la non pertinence de la technique.

### 3.3.17.6 Design du sourire



*Figure 60 Motifs de l'indication de la CFAO dans le design du sourire*

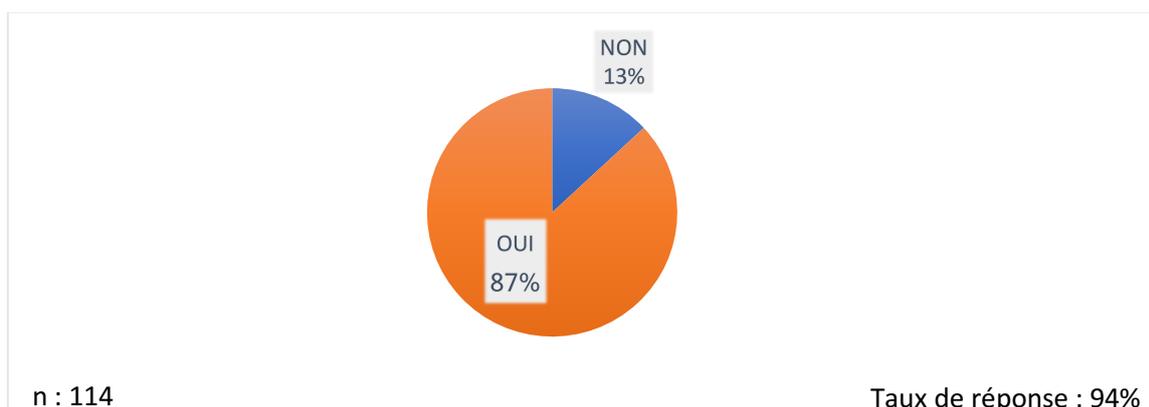
Selon la figure 60, les raisons qui motivent les praticiens à utiliser la CFAO pour le design du sourire sont à 52 % pour une meilleure esthétique, 46 % pour un protocole simplifié, 40 % pour une meilleure précision, 29 % pour un temps de réalisation optimisée.



*Figure 61. Motifs de la non indication de la CFAO dans le design du sourire*

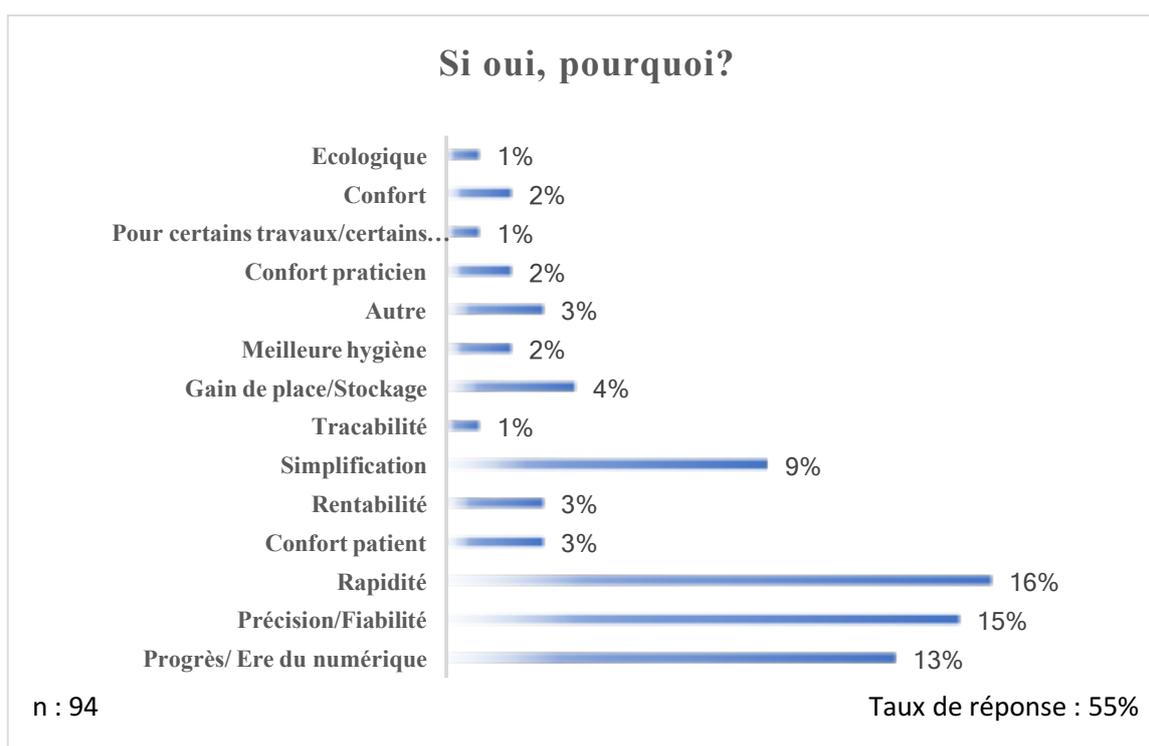
D'après la figure 61, différentes raisons ont conduit les praticiens à ne pas utiliser la CFAO pour le design du sourire. Les raisons principales sont le manque de formation, la non pratique et le temps de réalisation.

### 3.3.18 La numérisation des empreintes deviendra incontournable



*Figure 62 Numérisation des empreintes*

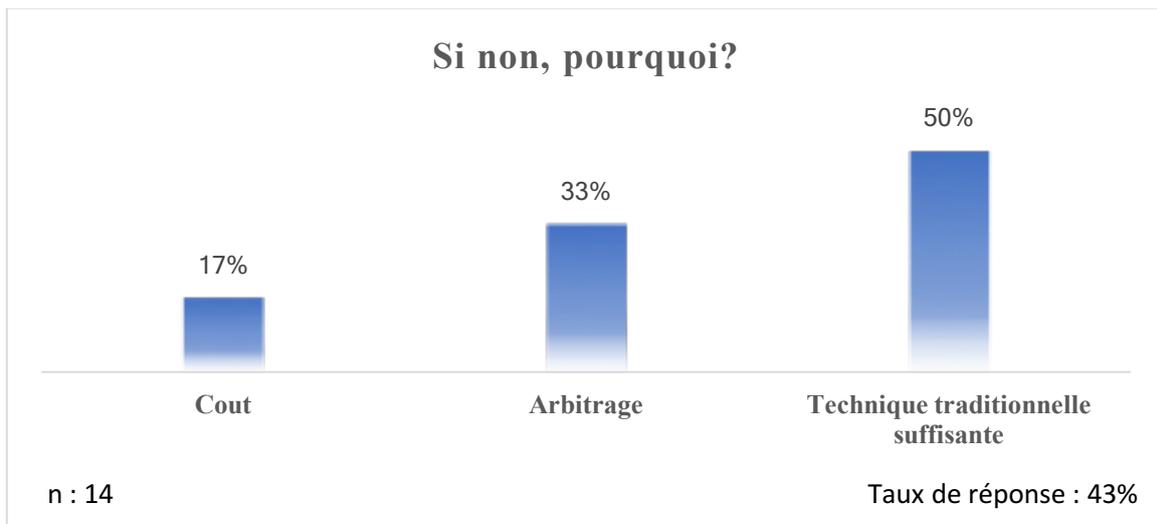
La figure 62 nous montre que la grande majorité des praticiens pensent que la numérisation des empreintes deviendra incontournable.



*Figure 63 Numérisation des empreintes incontournable*

Parmi les raisons évoquées, celles qui ressortent le plus sont, le gain de temps, la précision, la fiabilité et une simplification du protocole.

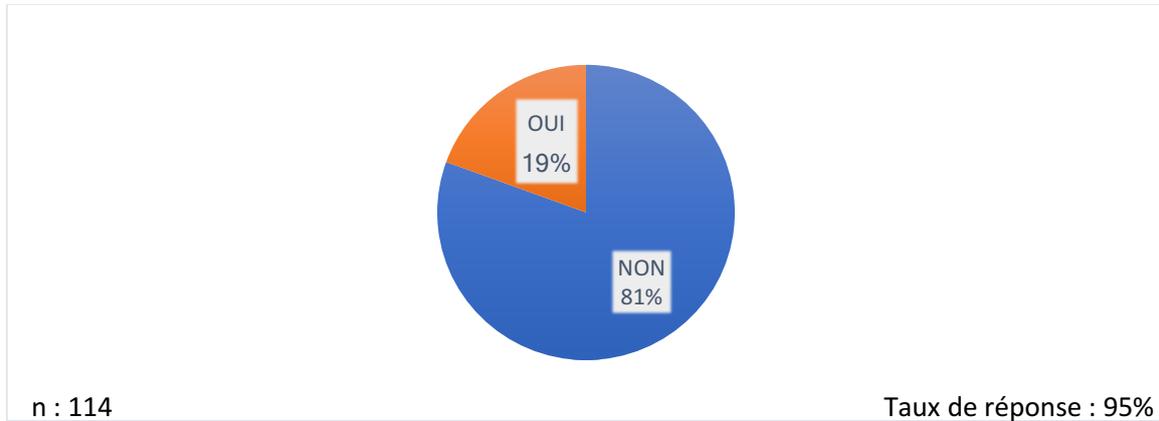
Les praticiens relèvent également que la numérisation des empreintes constitue le progrès ainsi que l'entrée dans une nouvelle ère.



*Figure 64 Les motifs pour lesquels la numérisation des empreintes ne deviendra pas incontournable*

D'après la figure 64, le motif principal pour lequel la numérisation ne paraît pas incontournable est que la technique traditionnelle est déjà suffisante pour eux.

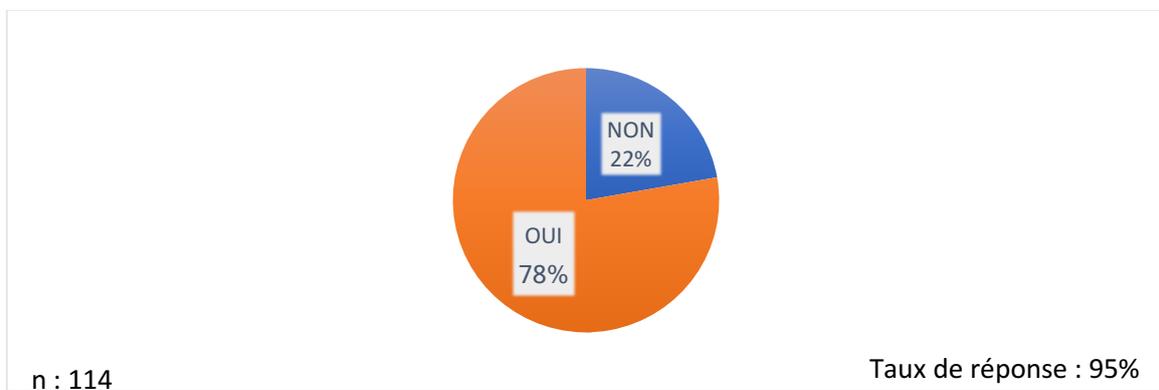
### 3.3.19 Vous sentez vous dépassé par ces nouvelles technologies



*Figure 65 Le rapport du praticien à la technologie*

La figure 65 montre que 81 % des praticiens sondés ne se sentent pas dépassés par ces nouvelles technologies.

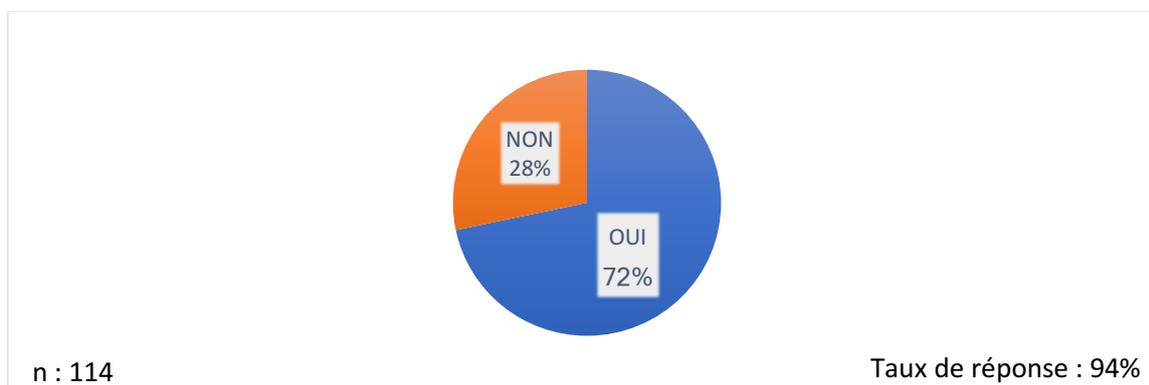
### 3.3.20 Amélioration de la communication praticien- patient



*Figure 66 La communication praticien-patient*

La figure 66 nous indique que la grande majorité des praticiens sondés pensent que les nouvelles technologies améliorent la communication praticien-patient.

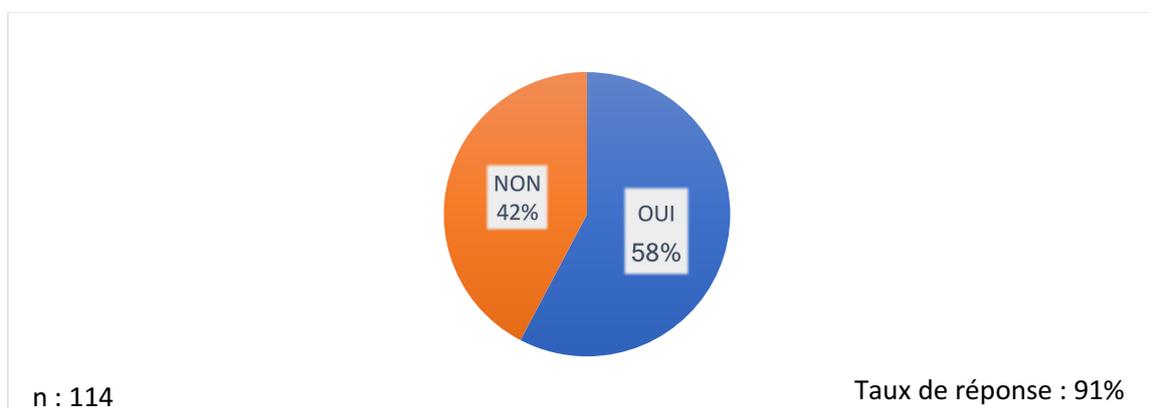
### 3.3.21 Amélioration de la communication praticien – prothésiste



*Figure 67 La communication praticien- prothésiste*

La figure 67 nous indique que 72 % des praticiens sondés pensent que cette numérisation améliore la communication praticien-prothésiste.

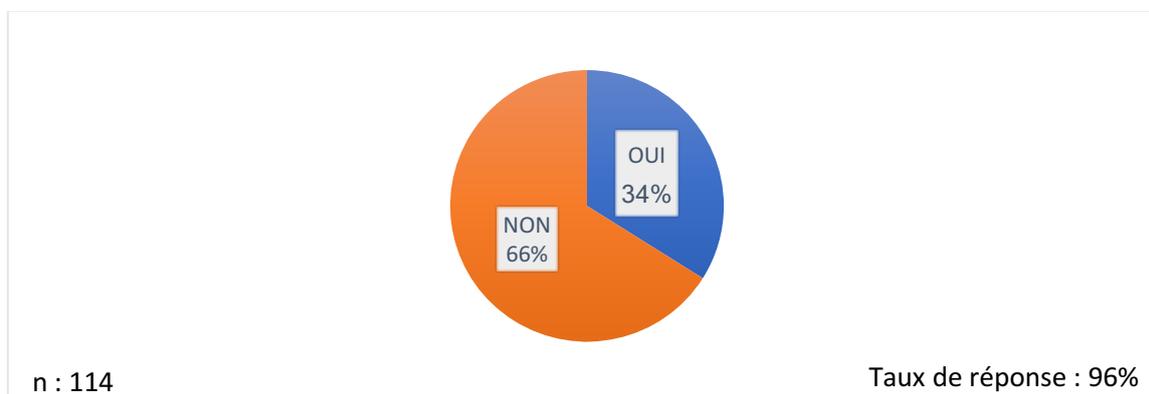
#### 3.3.21.1 *Changement de prothésiste ne souhaitant pas investir dans la CFAO*



*Figure 68 Relation praticien-prothésiste*

La figure 68 nous montre que 58 % des praticiens sondés envisageraient de changer de prothésiste si celui-ci ne souhaite pas investir dans la CFAO.

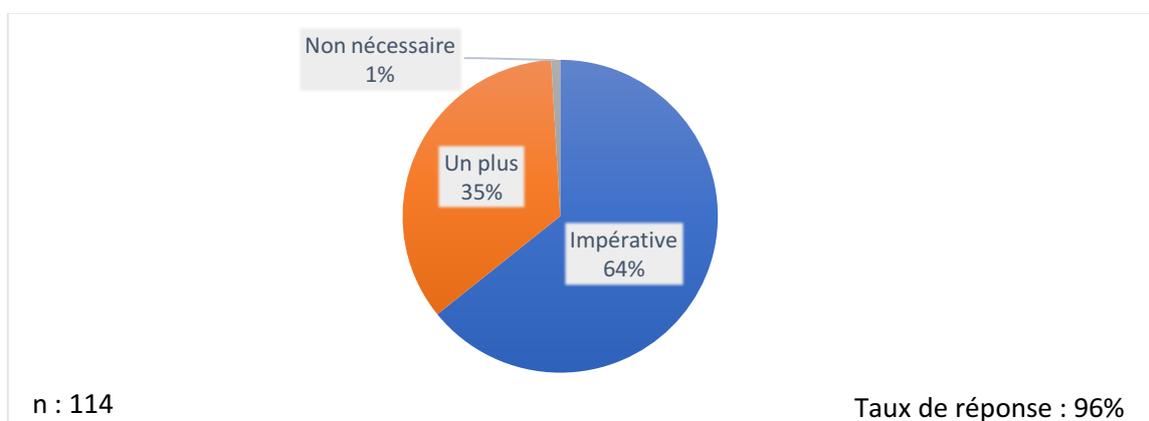
### 3.3.22 Utilisation des outils de la CFAO par l'assistante dentaire



*Figure 69 Rôle de l'assistante dentaire dans la CFAO*

La figure 69 nous indique que la majorité des praticiens sondés ne considèrent pas que les techniques de CFAO peuvent être assurées par une assistante dentaire.

### 3.3.23 Formation des futurs praticiens



*Figure 70 La formation en CFAO*

Selon la figure 70, la grande majorité (64 %) des praticiens sondés pensent que la formation en CFAO est impérative. Alors que 35 % la trouvent facultative et seulement 1 % non nécessaire. Nous retrouvons des pourcentages semblables en prenant en compte uniquement les praticiens CFAO.

### 3.4 Discussion

#### 3.4.1 Conception de l'enquête

Nous constatons que cette étude comporte différentes limites :

Tout d'abord, le moyen de sélection de notre échantillon peut être relevé.

La diffusion du questionnaire s'est faite via les réseaux sociaux notamment via des groupes fermés Facebook liés à cette technologie. Ainsi on peut supposer qu'ils sont intéressés par cette technologie et ont un a priori favorable à la CFAO, influençant, de ce fait, certaines réponses.

De plus, l'échantillon total de praticiens est assez réduit, il n'est donc pas totalement représentatif de la population totale des praticiens d'Ile de France.

Malgré ces limitations nous pouvons tout de même interpréter les résultats obtenus.

Avec 114 praticiens ayant répondu à cette enquête, nous pouvons dire que cette étude a réuni malgré tout, un nombre conséquent de réponses pour ce type d'enquête. Comme le montre la première partie du questionnaire, la répartition de notre échantillon est assez similaire à l'échantillon réel des chirurgiens-dentistes d'Ile de France au niveau de la répartition par âge et par sexe.

On notera également la bonne répartition géographique des praticiens.

#### 3.4.2 Comparaison des résultats avec d'autres enquêtes existantes

Peu d'enquêtes ont été réalisées sur l'utilisation de la CFAO par les dentistes.

Une enquête réalisée au Royaume Uni a été trouvée dans la littérature. Il s'agit d'une étude de Tran, Nesbit et Petridis, réalisée auprès de praticiens britanniques en 2016. Nous avons pu constater un grand nombre de similitudes avec notre enquête, notamment en ce qui concerne les principales questions sur l'utilisation de cette technologie par les praticiens (Tran et al. 2016).

On a également relevé des similitudes avec l'enquête de Roques réalisée dans la région Midi-Pyrénées en 2013. Il a été aussi intéressant de voir l'évolution des réponses entre 2013 et 2017 (Roques 2014).

Ces similitudes ont été répertoriées dans le tableau suivant (Tab 1) :

	Enquête Ile de France 2017		Enquête Midi-Pyrénées 2013		Enquête Royaume Uni 2016	
	Oui	Non	Oui	Non	Oui	Non
<b>Pratique de la CFAO au cabinet dentaire</b>	40 %	60 %	64 %	36 %	42 %	56 %
<b>Formation en CFAO</b>	63 %	37 %	44 %	54 %		
<b>Communication praticien-prothésiste</b>	72 %	28 %	37 %	54 %		
<b>Communication praticien-patient</b>	78 %	22 %	56 %	40 %		
<b>Avenir de la numérisation intra-buccale</b>	87 %	13 %	72 %	20 %	89 %	11 %

	Enquête Ile de France 2017			Enquête Midi-Pyrénées 2013			Enquête Royaume-Uni 2016		
<b>Motifs d'utilisation de la CFAO</b>	1. Précision / modernité, évolution (29 %) 2. Rapidité (24 %)						1. Améliorer la qualité (64 %) 2. Suivre la technologie (59 %)		
<b>Motifs de la non utilisation de la CFAO</b>	1. Coût (78 %) 2. Besoin de formation (26 %)			1. Coût des machines CFAO (68 %) 2. Coût de cameras optiques (46 %)			1. Coût élevés (59 %) 2. Méthode traditionnelle suffisante (26 %)		
<b>Avantages de la CFAO</b>	1. Attractivité du cabinet (67 %) 2. Précision (61 %) 3. Rapidité de réalisation (58 %)			1. Confort pour le patient (80 %) 2. Rapidité de réalisation (73%) 3. Précision (65 %)					
<b>Limites de la CFAO</b>	1. Coût d'investissement (61 %) 2. Rendu esthétique céramique usinée (50 %) 3. Temps passé (38 %)			1. Coût d'investissement/maintenance (79/71 %) 2. Rendu esthétique céramique usinée (55 %) 3. Indications cliniques limitées (53 %)					
<b>Domaines d'application de la CFAO</b>	1. Inlays/Onlays (93 %) 2. Couronnes (90 %) 3. Facettes (65 %)			1. Prothèse fixée (94 %) 2. Odontologie restauratrice (62 %) 3. Prothèse fixée sur implants (58 %)					
<b>Difficultés d'apprentissage</b>	1. Techniques de maquillage (32 %) 2. Temps d'apprentissage (20 %) 3. Conception informatisée (16 %)			1. Techniques de maquillage (60 %) 2. Empreinte optique (53%) 3. Temps d'apprentissage (40 %)					
<b>Formation des futurs praticiens</b>	Impérative	Un plus	Non nécessaire	Impérative	Un plus	Non nécessaire			
	64 %	35 %	1 %	46 %	47 %	4 %			

*Tableau 1 Comparatif des résultats entre 3 enquêtes sur le sujet (Roques 2014; Tran et al. 2016).*

Nous pouvons relever dans le tableau 1, que les mêmes avantages et limites de la CFAO ont été constatés entre 2013 en région Midi Pyrénées et 2017 en région Ile de France.

On observe une amélioration des techniques de la CFAO dans certains domaines comme la réalisation de l’empreinte optique et l’élargissement de la palette des indications cliniques. Cependant, dans certains domaines nous constatons aucune évolution comme le rendu esthétique de la céramique usinée et le coût d’investissement.

### 3.4.3 Renseignements sur l’échantillon

Concernant l’échantillon, on note qu’il est constitué, pour plus de 56 %, d’hommes, majoritairement âgés de plus de 45 ans, les plus jeunes restent principalement des femmes.

Dans cette étude les praticiens exercent en moyenne depuis 22 ans.

On note également qu’en moyenne, les cabinets sont composés de 2 praticiens, mais on observe chez les plus jeunes, une moyenne supérieure de 3 praticiens par cabinet, certainement dû à l’engagement financier important pour démarrer un cabinet dentaire compétitif.

Les praticiens sont omnipraticiens à 91 %, dont 40 % sans spécialisation précise.

Parmi les spécialisations, l’implantologie est la plus pratiquée avec 47 % des praticiens, suivi de la Parodontologie avec 29 % des praticiens.

### 3.4.4 Utilisation de la CFAO

Dans notre étude, 40 % des praticiens sondés utilisent la CFAO en technique directe, semi-directe ou indirecte dans la conception et/ou la fabrication des prothèses dentaires.

On note également, que les 35/45 ans et 45/55 ans sont les plus touchés par cette technologie ainsi que les cabinets comportant plus de 3 praticiens. Cette répartition est certainement due au coût d’investissement financier et structurel important que nécessite la CFAO et dont les plus jeunes praticiens et les cabinets mono praticiens peuvent moins se permettre.

#### 3.4.4.1 Techniques d'utilisations de la CFAO

Concernant la technique de CFAO utilisée, on relève que 74 % des praticiens CFAO possèdent une caméra intra-buccale.

On note également que 53 % des praticiens CFAO, disent posséder une machine d'usinage leur permettant ainsi de travailler également en technique directe.

Enfin, 26 % des praticiens CFAO travaille en technique indirecte.

On a donc parmi les 74 % praticiens CFAO possédant une caméra intra buccale, 71 % pouvant travailler en CFAO directe et semi-directe, et 29 % uniquement en CFAO semi-directe.

La marque la plus représentée est Cerec<sup>®</sup>/ Sirona<sup>®</sup>, que ce soit au niveau de la camera intra buccale, à hauteur de 71 %, ou bien de la machine d'usinage, à hauteur de 95 %.

Ceci peut s'expliquer par le fait que l'acquisition d'un système d'empreintes optiques peut aussi se voir comme une première étape vers un équipement de CFAO complet (logiciel de conception et fabrication) au cabinet. En effet, commencer avec l'empreinte optique peut être un bon moyen d'évaluer l'intégration dans son activité et ses besoins. Si cette option est envisagée, il faut que le système de CFAO semi-directe (la caméra) puisse évoluer vers un système de CFAO directe, soit dans la gamme du fabricant (ce qui facilite grandement la compatibilité) soit avec du matériel tiers. Or aujourd'hui le système de CFAO directe le plus complet et sur lequel on a le plus de recul est le système Cerec<sup>®</sup>/ Sirona<sup>®</sup> (Arcaute et Nasr 2017).

Le système Cerec<sup>®</sup> est un système de CFAO directe. Cela explique pourquoi nous avons une majorité de praticiens CFAO l'utilisant en technique directe.

En effet, bien qu'il soit possible de transférer les données Cerec<sup>®</sup> au format STL, cela nécessite l'utilisation du portail Sirona Connect (gratuit pour le praticien) ainsi que l'acquisition par le prothésiste du logiciel inLab (payant pour ce dernier) permettant d'interpréter les données (Dentsply Sirona 2017).

Il semblerait donc que le système Cerec<sup>®</sup> oriente l'usage de ses caméras optiques à la CFAO directe.

Les résultats concernant la Prothèse Fixée ainsi que l'Odontologie Restauratrice, semblent corroborer cette hypothèse.

Effectivement lors du recours à la CFAO directe, l'activité prothétique est limitée aux capacités des usineuses de cabinet donc uniquement des petites pièces prothétiques en céramique jusqu'aux bridges de petite étendue(Dentsply Sirona 2018).

### 3.4.5 Réponses des utilisateurs CFAO ou non

#### 3.4.5.1 *Précision*

Dans notre enquête nous voyons que, selon les praticiens CFAO ou non, un des avantages principaux de l'utilisation de la CFAO serait la précision.

En effet, l'utilisation de ce procédé présente trois avantages : la précision, la durabilité, et la simplicité de fabrication, qu'il concerne un support implantaire ou dentaire (Missika et al. 2011; Abduo et Lyons 2013).

Une première revue systématique parue en 2010 avait conclu que pour le moment, la méthode CFAO n'améliorait pas la précision des restaurations dentoportées, même si le niveau d'adaptation se situait dans un niveau cliniquement acceptable (Abduo et al. 2010).

Plus récemment, Boitelle et al. ont publié une nouvelle revue systématique portant sur l'évaluation de l'adaptation de couronnes réalisées en CFAO (Boitelle et al. 2014).

Il ressort de l'analyse de la littérature (90 études retenues pour 142 exclues) qu'il est possible d'atteindre un joint dent/prothèse inférieur à 80  $\mu\text{m}$ , concluant cette fois que la CFAO tendait à améliorer la qualité moyenne de l'adaptation des prothèses, en comparaison avec celles obtenues de manière conventionnelle. Au total, 26 systèmes ont été inclus dans cette étude, parmi lesquels le Cerec<sup>®</sup> 1, 2, 3 et InLab, mais aussi le système Procera et 3shape, pour ne citer que ceux les plus représentés.

En ce qui concerne la précision de l'accastillage et des couronnes supra-implantaires, une première revue systématique publiée en 2011 par Abduo et al. précisait que la méthode CFAO était celle ayant le potentiel d'obtenir les résultats les plus constants en terme de précision d'adaptation (Abduo et al. 2011).

Depuis, les études montrent de manière constante que l'adaptation des pièces issues de la CFAO est meilleure ou au moins équivalente (l'ajustement vertical varie entre 1 et 27  $\mu\text{m}$ ) à celle des pièces issues des méthodes conventionnelles (Abduo et al. 2010; Abduo 2014).

De França et al. en 2015 sont arrivés à la conclusion que la fabrication de piliers en zircone ou en cobalt-chrome en CFAO apportait de meilleurs résultats que la méthode conventionnelle. Les valeurs moyennes étaient de  $5,9 \pm 3,6 \mu\text{m}$  pour la zircone fabriquée par CFAO, de  $1,2 \pm 2,2 \mu\text{m}$  pour les piliers en cobalt-chrome fabriqués par CFAO,  $11,8 \pm 9,8 \mu\text{m}$  pour les piliers pré-usinés de cobalt-chrome, et  $12,9 \pm 11,0 \mu\text{m}$  pour les piliers fabriqués de manière conventionnelle (valeurs correspondant à l'espace vertical mesurées au niveau de l'interface implant/pilier significativement plus faibles) (França et al. 2015).

Une publication récente de Ng et al. vient apporter quant à elle une précision intéressante en ce qui concerne le « tout numérique ». Cette étude a montré que les couronnes produites en CFAO de manière entièrement numérique (empreinte optique, wax-up et articulateur numérique) et produites à l'aide d'une usineuse à 5 axes (c'est le cas de la Cerec<sup>®</sup> MCXL de laboratoire) en disilicate de lithium présentaient une meilleure adaptation marginale que les couronnes issues de la méthode conventionnelle. En effet la mesure globale de l'écart vertical moyen  $\pm$  écart-type pour les couronnes faites numériquement était de  $48 \pm 25 \mu\text{m}$ , ce qui était significativement plus petit que pour les couronnes de fabrication conventionnelle ( $74 \pm 47 \mu\text{m}$ ) (Ng et al. 2014).

Cependant, concernant la précision de la CFAO, certains auteurs rappellent de manière prudente que « le problème n'est pas d'obtenir le niveau d'ajustement le plus précis mais celui d'assurer sa fiabilité dans un grand nombre de restaurations dentaires, en utilisant la même machine convenablement réglée sur différents matériaux. Le nombre limité d'études et la trop grande diversité des résultats et des protocoles ne permettent pas encore de tirer des conclusions définitives quant à la supériorité des prothèses issues de la CFAO sur celles issues des méthodes conventionnelles. D'autres recherches sont nécessaires pour évaluer la précision d'ajustement de divers types de restaurations CFAO usinées dans des conditions cliniques » malgré la publication de nombreuses études allant dans ce sens (Parpaiola et al. 2013; Boitelle et al. 2014).

De plus, on observe que nombre de ces études ont été réalisées *in vitro*. Bien qu'apportant de nombreuses réponses et explications fiables, étudier le fonctionnement d'une empreinte optique sur un modèle en plastique en extra-oral supprime une partie des difficultés rencontrées lors du scannage en bouche et de ce fait biaise les résultats de manière relativement importante.

La qualité de la prothèse usinée par CFAO va dépendre de plusieurs facteurs. En effet, chaque étape de production va influencer l'adaptation finale entre la dent et la prothèse sus-jacente. La précision de la réalisation de l'empreinte est une des étapes majeures. Cette étape est influencée par la qualité de l'empreinte numérique réalisée au préalable.

En tout premier lieu, il est impératif de prendre une empreinte optique dans un milieu exempt de salive ou de sang sinon le scannage risque d'être interrompue et le résultat prothétique final sera alors compromis (Soenen 2014).

L'enregistrement des limites de préparation est une étape clé lors de la conception et fabrication de prothèse assistée par ordinateur. Sa qualité dépend directement de la mise en évidence des limites (Etienne 2014).

Or les caméras n'enregistrant que ce qu'elles voient, il existe différentes situations pour lesquelles il n'est pas possible de conserver des limites de préparation supra-gingivales (Clément et al. 2015; Descombaz 2015) tels que:

- Importance esthétique de la prothèse (dischromie...)
- Rétention prothétique insuffisante par manque de hauteur (minimum 4 mm)
- Renouvellement d'anciennes prothèses aux limites sous gingivales
- Délabrement par atteinte carieuse ou par fracture des tissus dentaires.

L'empreinte optique intra buccale n'a donc pas complètement remplacé l'empreinte physico-chimique. En effet, dans le cas de préparations avec des limites intra sulculaires profondes, la lecture des limites de finition est difficile et approximative.

Les matériaux à empreinte ont l'avantage de fuser dans le sulcus par compression si la gencive marginale a été préalablement écartée.

Dans le cas des caméras nécessitant l'application de poudre, la simple présence de salive ou de sang peut entraîner une agglomération de poudre à certains endroits et donc modifier l'enregistrement (Chouraqui et Moussaly 2015).

L'étude de Kim et al. montre que les erreurs retrouvées au niveau des empreintes étaient dues, en majorité, à des problèmes de poudrage (Kim et al. 2015). La maîtrise de cette application dépendant donc de l'expérience du dentiste, les erreurs peuvent être accrues, en particulier pendant la phase d'apprentissage (Dehurtevent et al. 2015).

Certaines caméras intra-orales possèdent des embouts de scannage assez volumineux. En effet, la qualité de l'enregistrement, en site de 2<sup>ème</sup> molaire mandibulaire, est à mettre en question. Avec une faible ouverture buccale et la présence d'une caméra présentant un embout de scannage important, l'accessibilité de la partie distale reste compromise.

Toutes ces limites peuvent expliquer, pourquoi dans notre étude, l'écrasante majorité des praticiens CFAO utilisent les outils CFAO uniquement dans les domaines de la Prothèse unitaire fixée, d'inlay/Onlay ou bien de facette ; et beaucoup moins dans le domaine de la prothèse plurale fixée

De plus, on relève qu'aucun praticien réalise de prothèse amovible à partir d'une empreinte optique. Ainsi, de manière générale, on peut noter que plus la prothèse est complexe ou d'étendue importante, moins les praticiens ont recours à l'empreinte numérique.

En effet, le défi en termes de précision pour les scanners intra oraux concerne la numérisation de grand secteur dentaire voir de l'arcade complète.

Effectivement, il existe un phénomène de distorsion lorsque la caméra optique a affaire à une courbe et non plus une ligne droite.

Pour rappel, la prise de l'empreinte optique consiste en une succession d'images recoupées entre elles afin de former la reconstitution 3D.

Cette accumulation d'images entraîne donc une accumulation d'erreurs tout au long du scannage, ce qui provoque au final d'importantes déformations (van der Meer et al. 2012).

La précision de la caméra intra-orale est donc moindre lorsque l'on se retrouve à enregistrer la position de multiples unités distribués le long de l'arcade (Pradies et al. 2014).

Dans le cas d'un édentement total il est très difficile d'obtenir un scannage fiable. Effectivement, du fait de l'absence de repères anatomiques, les caméras ont du mal à se localiser dans l'espace (Vandeweghe et al. 2017).

Il est également plus difficile de réaliser un scannage fiable *in vivo* lorsque par exemple, des implants sont éloignés entre eux, car la forme de la muqueuse peut se modifier légèrement en fonction des mouvements des joues, inhérents lors de l'enregistrement ; la réussite du scannage reposant sur la présence de points de références fixes (Vandeweghe et al. 2017).

La prise d'empreinte optique reste donc optimale dans le cas d'édentement unitaire ou de petits édentements pluraux (2 ou 3 dents manquantes) corroborant ainsi avec les résultats de notre étude.

#### 3.4.5.2 Esthétique

Dans notre étude, 50 % des praticiens jugent défavorablement le rendu esthétique de la céramique usinée/maquillée. Elle correspond aussi à la limite mis en avant le plus souvent par les praticiens, concernant les différents domaines d'applications.

Cette limite arrive même en première position chez les praticiens CFAO, devant le coût d'investissement.

En effet, les couronnes en céramique obtenues par CFAO ont un niveau d'esthétique moindre par rapport aux couronnes céramiques stratifiées (Ceinos et al. 2016).

Afin d'améliorer l'esthétique d'une couronne, il est donc favorable de réaliser un maquillage de la pièce prothétique. Dans le cadre de la CFAO directe, le dentiste se retrouve donc à endosser le rôle de prothésiste (Descamp et Fages 2016). Ce maquillage entraîne du travail supplémentaire pour le dentiste ainsi qu'une augmentation du temps de réalisation de la prothèse (Descamp 2015).

Si le praticien souhaite déléguer cette tâche, il devra alors former son assistante à cette étape de maquillage. Or on note dans notre étude que la grande majorité des praticiens ne considèrent pas que les techniques de CFAO peuvent être assurées par une assistante dentaire. D'après l'étude de Kollmuss et al. en 2016, comparant des couronnes réalisées en CFAO directe grâce au système Cerec<sup>®</sup>, faites de manière conventionnelle ou usinées en laboratoire, le meilleur résultat d'un point de vue esthétique était obtenu pour les couronnes réalisées de manière conventionnelle (Kollmuss et al. 2016).

### 3.4.5.3 *Choix des matériaux*

On voit dans notre étude que les praticiens considèrent « l'utilisation de nouveaux matériaux », comme le principal domaine modifié par l'utilisation de la CFAO.

En effet, nous constatons que lors de la CFAO directe, sans intervention du laboratoire, seules la zircone, la céramique et la résine sont accessibles au praticien.

Dans le cas d'un patient bruxomane ou avec un espace prothétique faible, il est impossible de faire une couronne métallique avec une face vestibulaire en céramique par exemple.

De plus, les blocs de CFAO proposés par les différentes marques sont presque tous contre-indiqués pour les patients bruxomanes. Il semble donc délicat de prendre en charge ce type de patients par la CFAO.

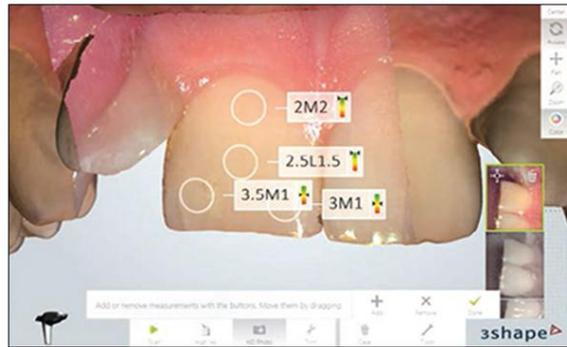
Un grand nombre de limites a été récemment traité dans la thèse de Delain.D (Delain 2017).

Néanmoins, on peut relever des avantages indéniables liés à l'utilisation de la CFAO au cabinet dentaire.

### 3.4.5.4 *Confort de travail*

Nous observons dans notre étude que le confort de travail est un des avantages mis en avant par les praticiens. Lors de la prise d'empreinte, nous obtenons sur l'écran en simultané la prévisualisation du modèle de travail. Il est alors possible d'arrêter l'émission lumineuse, de supprimer une information erronée (saignement intempestif...) et de redémarrer l'empreinte pour compléter la zone en question. L'empreinte optique a donc la capacité d'être acquise progressivement, corrigée et améliorée jusqu'à obtention du résultat optimal souhaité. Cette possibilité est particulièrement intéressante dans les restaurations présentant de multiples préparations (Cordelette et Jordan Combarieu 2014; Etienne 2014). Les nuances de teinte d'un enregistrement en couleur facilitent le repérage des limites de préparation.

Actuellement, certains scanners intra-oraux (Trios 3Shape) sont déjà en mesure de saisir la teinte des dents au cours de l'empreinte optique (fig. 70).



*Figure 71 Prise de teinte numérique automatisée par le système « Trios 3Shape » au cours d'une empreinte optique intra-buccale (Image 3Shape).*

La définition des limites sur l'empreinte numérique peut être faite automatiquement par un logiciel qui utilise un algorithme de reconnaissance d'arête, mais nous pouvons apporter des modifications.

#### *3.4.5.5 Confort du patient*

Comme constaté dans notre étude, selon le ressenti clinique des patients, l'empreinte optique apporterait un meilleur confort en évitant les matériaux à empreinte (Landwerlin 2014).

Ce gain de confort permet notamment d'enregistrer les préparations chez des patients ayant un réflexe nauséeux (Manfred 2012).

L'outil informatique et la visualisation de leur arcade par les patients aident à la compréhension du traitement et valorise par la même occasion l'image du cabinet. En effet, on note dans notre étude, la visualisation directe de leur bouche leur permet d'avoir le ressenti que le traitement est entièrement « sur mesure » et participerait à « l'augmentation de l'attractivité du cabinet » ainsi que l'entrée du cabinet dans « une nouvelle ère »...l'ère du numérique (Landwerlin 2015).

### 3.4.5.6 *Communication prothésiste*

Dans notre enquête, la communication praticien-prothésiste deviendrait plus étroite et plus facile pour 72 % des praticiens.

Ceci peut être expliqué par le fait que la numérisation de l’empreinte permet d’éviter les erreurs fréquentes liées aux empreintes conventionnelles (très opérateur dépendant) tels que les limites manquantes, la présence de tirage, le manque de cohésion entre les matériaux lors d’empreintes double viscosité. De nombreuses étapes de laboratoire, sources potentielles d’erreurs, sont ainsi supprimées telles que (Manfred 2012; Descombaz 2015) :

- la désinfection et décontamination des empreintes ;
- la coulée, le fractionnement, le détournage, la stabilité et la fracture des modèles positifs unitaires ;
- l’application uniforme d’un vernis d’espacement ;
- les déformations de la maquette en cire lors des différentes manipulations ;
- les étapes de coulée et de refroidissement ;
- les aléas de température, stockage, transport...

L’empreinte numérique est inaltérable et son traitement par informatique est simplifié, ce qui limite tout risque d’erreur humaine (Soenen 2014) .

Toutefois malgré ces avantages on note qu’aujourd’hui seul 3 à 4 % des praticiens sont équipés d’un système CFAO.

On peut l’expliquer, comme évoquée précédemment, par le fait qu’aujourd’hui, l’empreinte optique ne peut remplacer l’empreinte conventionnelle seulement dans certaines situations cliniques précises. En effet, dans notre étude, 34 % des praticiens trouvent les indications cliniques encore trop limitées.

Du fait de son coût relativement élevé, cet investissement ne se justifie peut-être donc pas.

En effet, concernant les motifs de la non utilisation de la CFAO par les praticiens, le frein majeur reste le coût d’investissement et de maintenance nécessaire à l’acquisition de cette technologie.

On note aussi dans notre étude, que le manque de connaissance et le besoin de formation freinent également un grand nombre de praticiens.

En effet, 64 % de praticiens pensent que la formation des futurs praticiens est impérative, quand seulement 1 % la trouvent non nécessaire.

Il est évident que le moyen d'étendre cette technique est, en tout premier lieu, de former les jeunes dentistes à cette technologie et donc de dispenser un enseignement spécifique aux étudiants lors des études en odontologie. Aujourd'hui seules quelques facultés, comme la faculté de Lyon, pratiquent la CFAO dans leurs enseignements cliniques.

Actuellement, la formation concernant la CFAO et l'empreinte optique est réalisée par les sociétés en charge de la vente des produits.

Or, commencer une nouvelle technologie peut s'avérer délicat si toutes les connaissances ne sont pas acquises. La formation sur ce type de technologie ne peut pas être du seul ressort de sociétés privées.

Concernant la formation continue postuniversitaire, c'est elle qui devrait permettre aujourd'hui de se former dans le domaine de la CFAO et de l'empreinte optique. Cela implique donc un investissement personnel et financier de la part du dentiste.

En effet, ces formations impliquent des cours et formation clinique imposant au dentiste de réduire son temps de travail au cabinet afin d'y participer, ainsi qu'un coût annuel important, surtout pour de jeunes dentistes.

Il existe donc plusieurs moyens de se former ou d'améliorer ses connaissances, néanmoins la demande de ces formations reste à l'initiative des dentistes.

L'absence de volonté de ces derniers à se former aux nouvelles avancées de la dentisterie, pourrait expliquer en partie la présence réduite de l'empreinte optique et de la CFAO en cabinet dentaire (Delain 2017).

#### *3.4.5.7 Modification des habitudes de travail*

On note dans notre étude qu'un grand nombre de domaines se trouvent modifier avec l'utilisation de la CFAO, notamment l'utilisation de nouveau matériaux, l'acquisition de nouveaux gestes cliniques et une nouvelle organisation du cabinet.

De plus, le changement d'une technique parfaitement maîtrisée, peut s'avérer être une étape délicate voire compliquée. Un praticien jeune sera plus enclin à investir dans une telle technologie qu'un praticien plus âgé.

On note également que dans le cadre de la CFAO semi-directe ou directe, le praticien utilise une caméra optique. Ce nouvel outil d'empreinte nécessite un temps d'apprentissage puis d'adaptation, qui suit une courbe d'apprentissage (Bartala et Duret 2014).

En effet dans notre étude, une des difficultés principales rencontrées lors de l'apprentissage de la CFAO a été surtout le temps d'apprentissage.

Changer des habitudes ancrées depuis plusieurs années peut apparaître comme difficile et donc freiner certains praticiens.

## Conclusion

Au vu de ces résultats, le nombre important d'utilisateurs, nous permet la réflexion suivante. Compte tenu des limites inhérentes au système, le type d'exercice de ces nombreux praticiens doit essentiellement intéressé des restaurations unitaires, totales ou partielles et ne peut donc pas envisager une réhabilitation où toutes les références du patient sont à changer.

On peut s'interroger sur la pression industrielle ou commerciale sur l'exercice des praticiens.

A l'heure actuelle, il semble que nous soyons dans une période de transition où se côtoient une dentisterie traditionnelle et une dentisterie numérique. Beaucoup de chirurgiens-dentistes utilisant le système Cerec® ou d'autres systèmes de CFAO dentaire n'hésitent pas à parler du fameux « virage numérique » que connaît la profession. Cette transition se fait peu à peu, et ce notamment à mesure que le numérique se développe.

En termes de précision des pièces prothétiques issues de la CFAO, les études montrent de manière constante que leur adaptation est meilleure ou au moins équivalente à celle des pièces issues des méthodes conventionnelles. Il faut cependant rester prudent à ce sujet en rappelant que le nombre de ces études, de plus en plus important certes, reste tout de même limité : on ne peut pas porter de conclusion définitive au sujet des couronnes CFAO « versus » celles issues des méthodes conventionnelles.

Si au terme de ce travail nous avons pu constater qu'il existait, certes, plusieurs avantages à l'utilisation de l'empreinte optique et de la CFAO, il existe néanmoins de nombreuses limites. Ces limites concernent majoritairement les cas de prise en charge d'édentements étendus avec un environnement buccal complexe ou se trouvant dans une zone esthétique, ainsi que la possibilité de travailler avec un prothésiste pratiquant et maîtrisant cette technique.

Une réelle expansion de l'utilisation de ces techniques peut être envisagée sous conditions que les fournisseurs continuent à perfectionner les outils propres à la CFAO et donc pallier ces limites, même si le coût, principal frein de l'investissement pour le chirurgien-dentiste, ne serait pas pour autant diminué.

Outre le coût, la formation au préalable pouvant être acquise à l'université n'est pour l'instant pas encore démocratisée. Les jeunes praticiens pouvant être intéressés se retrouvent alors freinés dans leur investissement par manque de connaissances.

La décision d'investir dans une telle technique doit être un choix murement réfléchi et en toutes connaissances de causes.

Il est important de se demander si le coût qu'implique cette pratique ne pourrait pas être la cause d'un sur traitement de la part des dentistes dans un souci de rentabilité.

De nouvelles perspectives de numérisation directe intra-buccale voient le jour grâce à la recherche et au développement de nouvelles technologies. Par exemple, un prototype de micro- scanner intra-oral ultrasonique aurait la capacité de scanner en bouche les tissus dentaires indépendamment de la présence de salive, sang ou gencive, se révélant ainsi très intéressant lors de limites intra-sulculaires profondes.

Le progrès ne s'arrête pas là : des prototypes ont déjà été proposés au salon de l'IDS (International Dental Show), comme une usineuse fonctionnant par soustraction laser (Lasermill de Dental) ou un véritable porte-empreinte numérique qui serait capable de réaliser l'empreinte optique en un clic (iTray de Medentec) (Landwerlin et Berruet 2015).

Toutes ces innovations devraient prochainement encore faire évoluer la dentisterie numérique en réduisant les erreurs et en facilitant son utilisation.

#### **4. Bibliographie**

- Abduo J. Fit of CAD/CAM Implant Frameworks: A Comprehensive Review. *J Oral Implantol.* 2014;40(6):758-66.
- Abduo J, Lyons K. Rationale for the use of CAD/CAM technology in implant prosthodontics. *Int J Dent.* 2013; 2013:768121.
- Abduo J, Lyons K, Bennani V, Waddell N, Swain M. Fit of screw-retained fixed implant frameworks fabricated by different methods: a systematic review. *Int J Prosthodont.* 2011;24(3):207-20.
- Abduo J, Lyons K, Swain M. Fit of zirconia fixed partial denture: a systematic review. *J Oral Rehabil.* 2010;37(11):866-76.
- ANAES. Le dossier patient en odontologie [Internet]. 2000 [cité 14 sept 2017]. Disponible sur : [https://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/201010/dossier\\_patient\\_en\\_odontologie\\_2000.pdf](https://www.has-sante.fr/portail/upload/docs/application/pdf/201010/dossier_patient_en_odontologie_2000.pdf)
- Arcaute B, Nasr K. CFAO au cabinet dentaire : le matériel disponible en 2017. *Fil Dent.* 2017;(125):12-20.
- Bartala M, Duret F. La CFAO appliquée. Paris: Espaces id; 2014.
- Berruet J., Ciaffoloni R, Pelissier B. La CFAO en cabinet dentaire avec laboratoire. *Quintessence Congrès ADF.* 2012;p.272-275.
- Boitelle P, Mawussi B, Tapie L, Fromentin O. A systematic review of CAD/CAM fit restoration evaluations. *J Oral Rehabil.* 2014;41(11):853-74.
- Cazier S, Moussaly C. Descriptif des différents systèmes d’empreinte optique. *Rev Odont Stomat.* 2013;(42):107-18.
- Ceinos R, Ghandour E, Leforestier E. Le maquillage des restaurations indirectes. *Clinic.* 2016;(349):403-13.
- Chouraqui J, Moussaly C. Les différents systèmes d’empreinte optique: comment faire son choix? *Réal Clin.* 2015;26(4):283-93.
- Clément M, Noharet R, Viennot S. Réalisation clinique d’une prothèse fixée unitaire : optimisation du résultat esthétique. *Encycl Méd-Chir Médecine Buccale.* 2015;{23-275-C-10}:1-17.
- CNIFPD. Le guide de la CFAO dentaire [Internet]. 2009. Disponible sur: [http://www.unppd.org/cnifpd/Guide\\_CFAO.pdf](http://www.unppd.org/cnifpd/Guide_CFAO.pdf)
- Cordelette M, Jordan Combarieu F. Evolutions majeures de la CFAO directe. *Inf Dent.* 2014;96(20):38-46.
- Dehurtevent M, Robberecht L, Béhin P. Influence of dentist experience with scan spray systems used in direct CAD/CAM impressions. *J Prosthet Dent.* 2015;113(1):17-21.
- Delain D. Limites techniques et environnementales de l’empreinte optique et de la prothese fixé usinée par CFAO en implantologie [Thèse d’exercice: Chirurgie dentaire]. [Paris]: Université Paris Diderot - Paris 7 . UFR d’Odontologie; 2017.

- Denry I, Kelly JR. Emerging ceramic-based materials for dentistry. *J Dent Res*. 2014;93(12):1235-42.
- Dentsply Sirona. Empreinte optique avec Sirona Connect [Internet]. Sirona Dental. 2017 [cité 15 oct 2017]. Disponible sur: <http://www.sirona-connect.fr/pour-laboratoires/avantages-laboratoires/>
- Dentsply Sirona. Fabrication avec CEREC | Dentsply Sirona [Internet]. 2018 [cité 14 janv 2018]. Disponible sur: <https://www1.dentsplysirona.com/fr-fr/produits/cad-cam/cad-cam-au-fauteuil/fabrication-avec-cerec.html>
- Descamp F. Pratique de l'empreinte en prothèse fixée - Editions Cdp: Du pilier naturel à l'implant. Des techniques classiques à la CFAO. Cdp. Initiatives Sante; 2015.
- Descamp F, Fages M. Empreinte optique. In: La CFAO en odontologie: les bases, les principes et les systèmes. Editions CDP; 2016.
- Descombaz C. Accès aux limites de préparation lors de la numérisation en CFAO dentaire [Thèse d'exercice : Chirurgie dentaire]. [Lyon]: Université Claude Bernard - Lyon I; 2015.
- Duret F. Historique du CAD/CAM. *Technol Dent*. 2003;200:5-7.
- Duret F, Duret B, Pelissier B. CFAO, une histoire vécu, le temps des pionniers. *Inf Dent*. 2007;89(29).
- Duret F, Pelissier B. Différentes méthodes d'empreintes en CFAO dentaire. *Encycl Méd Chir - Médecine Buccale*. 2010;{Article 28-740-R-10}.
- Eckel ZC, Zhou C, Martin JH, Jacobsen AJ, Carter WB, Schaedler TA. Additive manufacturing of polymer-derived ceramics. *Science*. 2016;351(6268):58-62.
- Ender A, Mehl A. Full arch scans: conventional versus digital impressions--an in-vitro study. *Int J Comput Dent*. 2011;14(1):11-21.
- Etienne O. Le système Trios de 3Shape, de l'empreinte optique à la réalisation prothétique. *Inf Dent*. 2014;96(29):18-25.
- França DGB de, Morais MHST, Neves FD das, Barbosa GAS. Influence of CAD/CAM on the fit accuracy of implant-supported zirconia and cobalt-chromium fixed dental prostheses. *J Prosthet Dent*. 2015;113(1):22-8.
- Güth J-F, Keul C, Stimmelmayer M, Beuer F, Edelhoff D. Accuracy of digital models obtained by direct and indirect data capturing. *Clin Oral Investig*. 2013;17(4):1201-8.
- Hollender M, Allard Y, Richelme J, Casu J. La CFAO indirecte. *Inf Dent*. 2014;96(20):22-9.
- Jaisson M. CFAO: les différents domaines de l'art dentaire touchés par l'innovation. *CAD/CAM*. 2013;3(2):26-9.
- Jaisson M, Felenc S. Occlusion et CFAO. *Inf Dent*. 2014;96(20):48-56.
- Joullie K, Julia M, Negrel D, Bertrand F. Prothèses et CFAO. *Strateg Prothétique*. 2011;11(2):97-106.
- Kim J-H, Kim K-B, Kim S-H, Kim W-C, Kim H-Y, Kim J-H. Quantitative evaluation of common errors in digital impression obtained by using an LED blue light in-office CAD/CAM system. *Quintessence Int*. 2015;46(5):401-7.

- Kollmuss M, Kist S, Goeke JE, Hickel R, Huth KC. Comparison of chairside and laboratory CAD/CAM to conventional produced all-ceramic crowns regarding morphology, occlusion, and aesthetics. *Clin Oral Investig*. 2016;20(4):791-7.
- Koralakunte PR, Aljanakh M. The Role of Virtual Articulator in Prosthetic and Restorative Dentistry. *J Clin Diagn Res JCDR*. 2014;8(7):ZE25-ZE28.
- Landwerlin O. IDS 2013—Les nouveautés en CAD/CAM et imagerie 3D pour le cabinet dentaire. *CAD/CAM*. 2013;3(2):16–20.
- Landwerlin O. CFAO Dentaire et empreinte optique : les caméras au banc d’essai. 2014;
- Landwerlin O. Apports de la CFAO Dentaire. *Fil Dent*. 2015;(100):40-1.
- Landwerlin O, Berruet J-L. Empreinte optique et CFAO dentaire à l’IDS 2015. *CAD/CAM, DT Study Club*. 2015;2(2):64-70.
- Laplanche O, Duminil G. L’articulateur virtuel demain...c’est tout de suite. *Inf Dent*. 2011;93(40/41):63-72.
- Maestre-Ferrín L, Romero-Millán J, Peñarrocha-Oltra D, Peñarrocha-Diago M. Virtual articulator for the analysis of dental occlusion: an update. *Med Oral Patol Oral Cirugia Bucal*. 2012;17(1):e160-163.
- Manfred K. Prise d’empreinte intrabuccale : les ensembles de données numériques pourront être collectés partout. *CAD/CAM*. 2012;1(2):13-5.
- Margossian P, Maille G, Loyer E, Niboyet C. Apport de la CFAO en implantologie. Hors-série (nouveaux regards sur la CFAO). *Cah Prothèse*. 2014;51-7.
- Mclaren E., Culp L, White S. The Evolution of Digital Dentistry and the Digital Dental Team | *Dentistry Today*. *Dent Today*. 2008;27(9):112, 114, 116-7.
- van der Meer WJ, Andriessen FS, Wismeijer D, Ren Y. Application of intra-oral dental scanners in the digital workflow of implantology. *PloS One*. 2012;7(8):e43312.
- Missika P, Bert M, Tarragano H, Tavernier B, Fromentin O. Quel type d’occlusion en prothèse implantaire? In: 30 questions en implantologie. Paris; 2011.
- Moussally C, Coudray L, Tirlet G, Attal J. CFAO, Ce qui change pour le praticien. *Réal Clin*. 2009;20(4):216.
- Naert I, Duyck J, Vandamme K. Occlusal overload and bone/implant loss. *Clin Oral Implants Res*. 2012;23 Suppl 6:95-107.
- Ng J, Ruse D, Wyatt C. A comparison of the marginal fit of crowns fabricated with digital and conventional methods. *J Prosthet Dent*. 2014;112(3):555-60.
- Ordre National des Chirurgiens. Traçabilité des dispositifs médicaux [Internet]. 2014 [cité 14 sept 2017]. Disponible sur: <http://www.ordre-chirurgiens-dentistes.fr/chirurgiens-dentistes/securisez-votre-exercice/materiel-et-materiaux/tracabilite-des-dispositifs-medicaux.html>
- Parpaiola A, Norton M, Cecchinatos D, Bressan E, Toia M. Virtual Abutment Design: A Concept for Delivery of CAD/CAM Customized Abutments - Report of a Retrospective Cohort. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2013;51-8.
- Pelissier B. Matériaux et CFAO dentaire. *Fil dent*. 2010;(51):58-62.

- Perelmuter S, Duret F, Lelievre F, Lecardonnell A, Cheron R. La prothèse céramo-céramique par CFAO. Paris: Quintessence International; 2009.
- Pradies, Ferreira, Ozcan, Giménez, Martinez. Using stereophotogrammetric technology for obtaining intraoral digital impr... Journal of the American Dental Association (JADA). 2014;
- Puri S. Maximizing and Simplifying CAD/CAM Dentistry. CAD/CAM Digit Impr. 2009;6-9.
- Roques C. La CFAO dans la pratique quotidienne en cabinet dentaire et en laboratoire dans la région midi-pyrénées en 2013 étude épidémiologique [Thèse d'exercice : Chirurgie dentaire]. [Toulouse]: Université Toulouse III; 2014.
- Schaefer O, Decker M, Wittstock F, Kuepper H, Guentsch A. Impact of digital impression techniques on the adaption of ceramic partial crowns in vitro. J Dent. 2014;42(6):677-83.
- Schneider C, Finelle G, Gallucci G-O. Management of the digitalstream in dentistry. R Odonto Stomato. 2015;44(3):147-61.
- Sirex C, Soenen A. L'impression 3D & l'univers dentaire. Fil Dent. 2017;(128):18-20.
- Sirona®. Planning d'entretien et de nettoyage [Internet]. CEREC MC XL. 2012. Disponible sur: <http://manuals.sirona.com/fr/la-dentisterie-numerique/solutions-cerec-chairside/cerec-mc-xl.html>
- Soenen A. La CFAO semi directe, principes et indications. Inf Dent. 2014;96(20):30-6.
- Tapie L, Lebon N, Attal J-P. La chaîne numérique en CFAO dentaire - Structuration de la chaîne de production en prothèse conjointe. Réal Clin. 2015;26.
- Tran D, Nesbit M, Petridis H. Survey of UK dentists regarding the use of CAD/CAM technology. Br Dent J. 2016; 221(10):639-44.
- Unger F. Concepts cliniques en innovation zircone et CFAO. Paris, France: Editions SNPMD; 2005.
- Vandeweghe S, Vervack V, Dierens M, De Bruyn H. Accuracy of digital impressions of multiple dental implants: an in vitro study. Clin Oral Implants Res. juin 2017;28(6):648-53.
- Veillerant C. LA CFAO : qu'est-ce que j'y gagne ? Fil Dent. 2017;(125):24-5.

## 5. Annexe

### *Enquête sur les pratiques et opinions des chirurgiens-dentistes d'Ile de France en 2017*

1/ Sexe

Homme    Femme

2/ Dans quelle tranche d'âge vous situez-vous ?

- 25/35 ans
- 35/45 ans
- 45/55 ans
- 55/65 ans
- + de 65 ans

3/ Dans quelle ville exercez-vous ? (Code postale)

4/ Depuis combien de temps exercez-vous ? (Donner la durée en chiffres)

5/ Combien de praticiens êtes-vous au cabinet ? (En chiffres)

6/ L'activité de votre cabinet est-elle plutôt orientée...

- Omnipratique
- Implantologie
- Orthodontie
- Parodontologie
- Soins esthétiques

7/ Utilisez-vous la CFAO (Directe, Semi directe ou Indirecte) dans la conception et/ou la fabrication des prothèses dentaires ?

Oui    Non (Puis passer à la question 7bis)

Si oui, quelles sont les raisons qui ont motivé l'utilisation de la CFAO ? Puis passer à Q8

**7bis/** Pourquoi n'utilisez-vous pas la CFAO ? (Plusieurs réponses possibles puis passer à la question 22)

- Manque d'intérêt
- Coût des machines CFAO
- Coût des caméras intra-buccales
- Prothésiste non équipé
- Besoin de formation
- Ne connais pas assez pour l'utiliser à ce jour

Autre :

***Praticiens utilisant la CFAO***

Si vous avez répondu oui à la question 7, sinon passez à la question 22

**8/** Possédez-vous une caméra intra-buccale ?

Oui Non

Si oui, quel modèle utilisez-vous ?

**9 /** Dans quel(s) domaine(s) utilisez-vous la prise d'empreinte numérique ?

Diagnostic

- Odontologie restauratrice : Inlay/onlay/facettes
- Prothèse unitaire fixée
- Prothèse plurale fixée
- Prothèse unitaire fixée sur implants
- Prothèse plurale fixée sur implants
- Prothèse amovible
- Prothèse amovible sur implants
- ODF
- PMF
- Chirurgie
- Communication patient

Autre :

**10/** Possédez vous une machine d'usinage ?

Oui Non (Passez directement à la question 11)

**10bis/** Si oui, quel système utilisez vous ?

**10ter/** Si oui, dans quel(s) domaine(s) utilisez-vous l'usinage dans votre cabinet ?

- Odontologie restauratrice : Inlay/onlay/facettes
- Prothèse unitaire fixée
- Prothèse plurale fixée
- Prothèse unitaire fixée sur implants
- Prothèse plurale fixée sur implants
- Prothèse amovible
- Prothèse amovible sur implants
- ODF
- PMF
- Chirurgie

Autre :

**11/** Avez-vous suivi une formation continue spécifique en CFAO ?

Oui Non

**12/** Si, oui, avec quelle(s) technique(s) ? (Plusieurs réponses possibles)

- Prise d'empreinte numérique
- CAO (Modélisation)
- Finition (Caractérisation)
- CFAO Directe
- FAO (Fabrication)

**13/** Avez-vous rencontré des difficultés dans l'apprentissage de la CFAO Directe pour :

- Maniabilité de la machine
- Temps d'apprentissage
- L'empreinte optique
- Conception informatisée
- Techniques spécifiques de réparation des tissus
- Techniques de maquillage

**14/** Si vous travaillez en technique Semi-Directe ou Indirecte, faites-vous

- fabriquer vos prothèses par :
- Plusieurs réponses possibles.
- Votre laboratoire de prothèse habituel
- Un laboratoire de prothèse spécialisé
- Centre d'usinage

Autre :

**15/** Si vous travaillez en technique Semi-Directe, avez-vous qu'un seul interlocuteur (ou fournisseur) ?

Oui Non

**16/** Dans quel(s) domaine(s) la CFAO (Directe, Semi-Directe ou Indirecte) a-t-elle modifié vos habitudes de travail ?

- Nouveaux gestes cliniques
- Nouveaux matériaux
- Nouveaux instruments de travail
- Nouvelle organisation du cabinet
- Nouveaux partenaires

Autre :

**17/** Combien de temps par semaine passez-vous sur les outils de CFAO au sein du cabinet dentaire ?

- 1 à 5h
- 6 à 10h
- 11 à 15h
- 16 h et +

**18/** S’agissant de la consultation de contenus avant votre achat (on/offline), pouvez-vous classer de 1 à 4 les 4 items par ordre croissant de préférence, en mettant le chiffre du rang devant chaque item ? (4 étant la meilleure note)

	1	2	3	4
Des informations sur les produits numériques (imprimante 3D, scanner, logiciel de traitement des empreintes optiques...)				
Des informations sur les résultats cliniques				
De la communication sur les offres commerciales et les nouveautés sur le marché				
Des informations sur les marques proposant des solutions numériques				

**19/** Vos sources d’information sur le sujet sont plutôt :

- La presse professionnelle
- Des témoignages d’utilisateurs
- Des blogs et forums sur internet

Autre :

**20/** Lorsque vous effectuez une recherche sur internet, quels sont les mots-clés les plus consultés ?

- caméra numérique
- empreinte optique
- dentisterie numérique
- la 3D

Autre :

**21/** Qu'est-ce qui a déclenché votre intérêt pour le numérique ? (2 choix possibles)

- discussions et retours de la part de vos confrères déjà équipés suite à des conférences sur le numérique
- la participation à un TP organisé par une marque chez un confrère
- une découverte du numérique lors de l'ADF
- suite à un réaménagement du cabinet
- l'arrivée de confrère (collaborateur ou/et associé)
- la lecture d'articles de presse dédiés

Autre :

### ***Praticiens utilisant ou non la CFAO***

**22/** Selon-vous, la CFAO présente-t-elle des limites en termes de : (Plusieurs choix possibles)

- Plusieurs réponses possibles.
- Rendu esthétique de la céramique usinée/maquillée
- Qualité mécanique des matériaux
- Indications cliniques
- Coût d'investissement
- Coût de la maintenance
- Temps passé
- Système semi automatisé, nécessitant une intervention humaine

**23/** Selon-vous, la CFAO permettrait une amélioration en termes de :

- Régularité, répétabilité
- Précision
- Rapidité de réalisation
- Confort de travail
- Confort pour le patient
- Baisse du prix des prothèses
- Traçabilité des prothèses
- Conservation des tissus
- Attractivité du cabinet

**24/** Pour quelles indications cliniques utilisez ou utiliseriez-vous la CFAO ?

- Inlays onlays
- Facettes
- Couronnes
- Piliers personnalisés sur implant
- Orthodontie
- Design du sourire

**25/** La CFAO vous paraît-elle pertinente et aboutie, pour les indications cliniques suivantes ?

**25.1/** Inlays onlays

Oui Non

Si oui, pourquoi ?

- Meilleure précision
- Plus d'esthétique
- Protocole simplifié
- Temps de réalisation optimisé

Autre :

Si non, pourquoi ?

## 25.2/ Facettes

Oui Non

Si oui, pourquoi ?

- Meilleure précision
- Plus d'esthétique
- Protocole simplifié
- Temps de réalisation optimisé

Autre :

Si non, pourquoi ?

## 25.3/ Couronnes

Oui Non

Si oui, pourquoi ?

- Meilleure précision
- Plus d'esthétique
- Protocole simplifié
- Temps de réalisation optimisé

Autre :

Si non, pourquoi ?

## 25.4/ Piliers

Oui Non

Si oui, pourquoi ?

- Meilleure précision
- Plus d'esthétique
- Protocole simplifié
- Temps de réalisation optimisé

Autre :

Si non, pourquoi ?

**25.5/ Orthodontie**

Oui Non

Si oui, pourquoi ?

- Meilleure précision
- Plus d'esthétique
- Protocole simplifié
- Temps de réalisation optimisé

Autre :

Si non, pourquoi ?

**25.6/ Design du sourire Une seule réponse possible.**

Oui Non

Si oui, pourquoi ?

- Meilleure précision
- Plus d'esthétique
- Protocole simplifié
- Temps de réalisation optimisé

Autre :

Si non, pourquoi ?

**26/ Pensez-vous que la numérisation des empreintes deviendra incontournable ?**

Oui Non

Pourquoi ?

**27/** Vous sentez-vous dépassé(e) par ces nouvelles technologies ?

Oui Non

Pourquoi ?

**28/** Pensez-vous que ces nouvelles technologies améliorent la communication praticien- patient ?

Oui Non

Pourquoi ?

**29/** Pensez-vous que cette numérisation améliore la communication praticien-prothésiste ?

Oui Non

Pourquoi ?

**30/** Envisageriez-vous changer de prothésiste si celui-ci ne souhaite pas investir dans la CFAO ?

Oui Non

**31/** Envisageriez-vous d'internaliser un prothésiste au sein de votre cabinet dentaire ?

Oui Non

Si non pour quelles raisons ?

- Charges salariales
- Gestion du recrutement
- Choix du prothésiste
- Pas d'intérêt

Autre :

**32/** Considérez-vous que ces techniques de CFAO peuvent être assurées par une assistante dentaire ?

Oui Non

Pourquoi ?

**33/** Selon-vous, la formation des futurs praticiens en CFAO est :

Impérative

Un plus

Non nécessaire

**Les opinions émises dans les dissertations présentées doivent être  
considérées comme propres à leurs auteurs, sans aucune approbation ni  
improbation de la Faculté de Chirurgie Dentaire**

**ELKRIEF Menahem. La CFAO en cabinet dentaire : Enquête sur les pratiques et opinions des chirurgiens dentistes d'Ile de France en 2017. 2018 . 103 p. : ill., graph., tabl. Réf. Biblio. : 88-91.**

**Sous la direction de Mme la Docteure SARFATI Elisabeth**

**Th. : Chir Dent. : Paris 7 : 2018**

---

**RÉSUMÉ :**

Depuis les années 80 où elle a vu le jour, la CFAO n'a cessé d'évoluer et de se perfectionner dans le domaine de l'odontologie.

On la retrouve aujourd'hui dans toutes les disciplines d'odontologie, avec des indications de plus en plus étendues.

Mais cette révolution technologique soulève des interrogations :

Le coût de l'équipement reste-t-il encore rédhibitoire ? L'engouement suscité par ces systèmes, notamment via les revues et congrès scientifiques, se vérifie-t-il dans les cabinets dentaires et sous quels aspects ? Sous quelles formes cette technique impacte-t-elle la pratique quotidienne des chirurgiens dentistes ? La communication avec le patient et le prothésiste en est-elle modifiée ? La multiplicité des systèmes ainsi que leur mise en œuvre nécessite-t-elle une formation d'accompagnement des praticiens dans cette pratique ?...

Afin de répondre à ces interrogations, nous allons dans une première partie présenter la CFAO de manière générale ainsi que ses domaines d'application puis, dans une seconde partie, nous allons réaliser une enquête afin de connaître la perception et l'impact de la CFAO sur la pratique quotidienne des chirurgiens-dentistes dans la région d'Ile de France en 2017.

---

**TITRE en anglais :** The CAD-CAM in dental practice: Inquiry into the practices and opinions of dental surgeons of Ile de France in 2017.

---

**DISCIPLINE :** Prothèse

---

**MOTS-CLES Français :**

Enquêtes et questionnaires (FMeSH), modèles de pratique odontologique (FMeSH), conception assistée par ordinateur (FMeSH), CFAO, Empreinte optique, camera numérique intra-buccale, 3D

---

**MOTS-CLÉS Anglais :**

Surveys and Questionnaires (MeSH), Practice Patterns, Dentists (MeSH), Computer-Aided Design (MeSH), CAD-CAM, Digital impression, Intra-oral digital camera, 3D

---